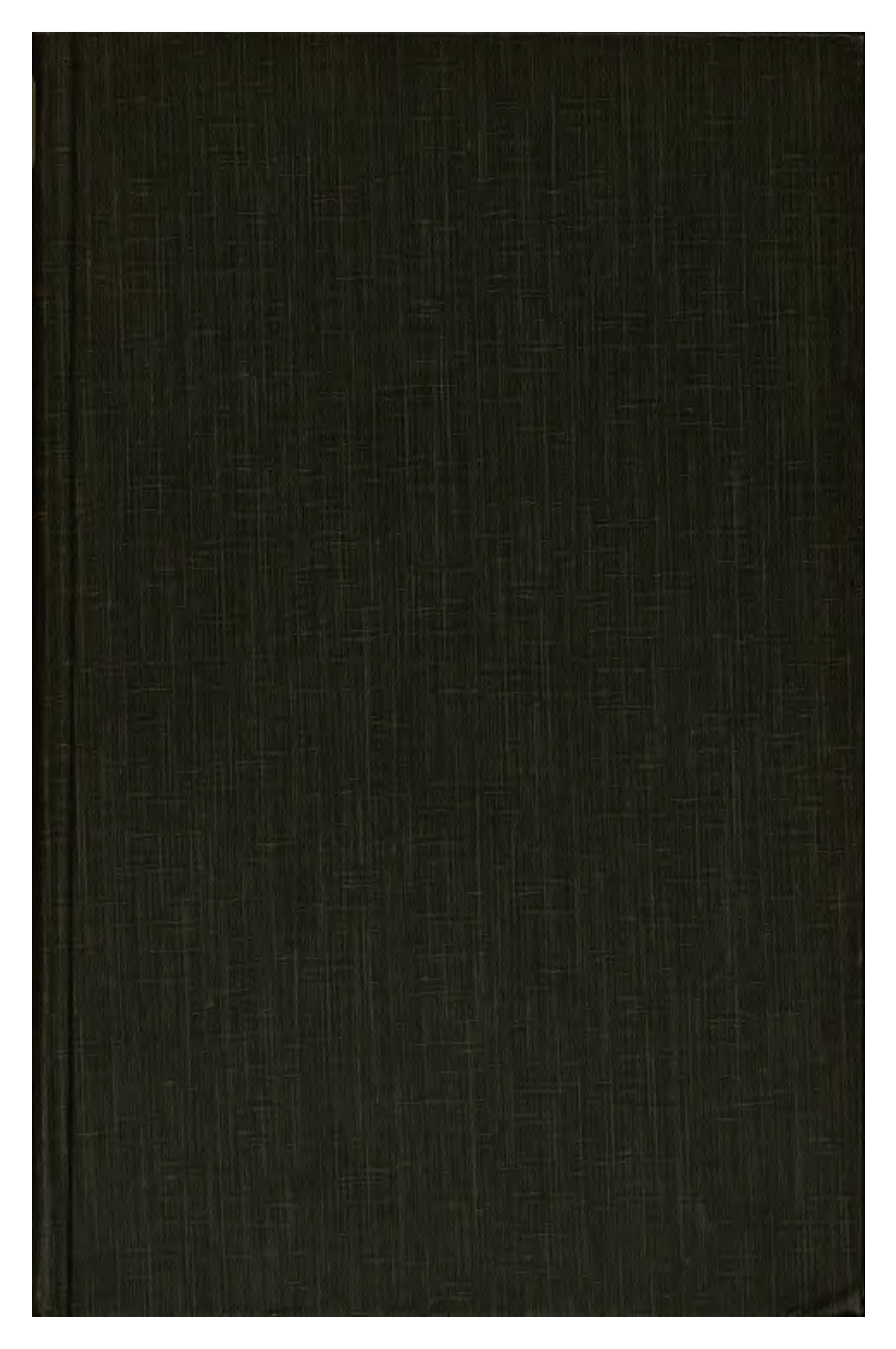



SIGILLUM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV·ANG·
CHRISTO ET ECCLESIAE



ÉCOLE D'APPLICATION DE L'ARTILLERIE ET DU GÉNIE

COURS D'ARTILLERIE

LES PROJECTILES

PAR E. JOUFFRET

CHEF D'ESCADRON D'ARTILLERIE

FONTAINEBLEAU

TYPOGRAPHIE DE ERNEST BOURGES

IMPRIMEUR DE L'ÉCOLE D'APPLICATION

32, rue de l'Arbre-Sec, 32.

1881

LES

PROJECTILES

Enfin, après avoir étudié le moyen, il nous faudra montrer le résultat en décrivant, d'après la théorie et, plus encore, d'après l'observation, les effets des projectiles dans

le tir contre { *les obstacles matériels : chapitre huitième ;*
les troupes : chapitre neuvième.

Un chapitre qui sort un peu du programme précédent a été intercalé, sous le nº 7, pour rappeler en termes sommaires les faits principaux de la théorie de la probabilité du tir, que nous aurons à invoquer dans les deux derniers chapitres.

CHAPITRE PREMIER

CONDITIONS RÉSULTANT DU MOUVEMENT DU PROJECTILE DANS L'AME DU CANON

Le projectile doit prendre dans le canon deux mouvements, un de rotation et un de translation.

En ce qui concerne celui-ci, il suffit de dire que la partie cylindrique doit être assez longue, relativement à la partie ogivale, pour que le centre de gravité se trouve dans la première; autrement la stabilité du projectile pendant son trajet dans l'âme ne serait pas suffisamment assurée. Cette condition est toujours largement satisfaite, mais elle met une limite à la tendance qu'on a (voir chap. 2) d'allonger l'ogive de plus en plus.

La rotation est obtenue au moyen de rayures héliçoïdales creusées d'avance sur la paroi de l'âme, et dans lesquelles pénètrent certaines portions superficielles du projectile. Dans l'étude des rayures, nous avons déjà fait la distinction des *systèmes à ailettes*, où ces saillies conductrices existent aussi d'avance sur la surface du projectile, et des *systèmes à forcement*, dans lesquels elles se produisent automatiquement dès que le projectile commence à sè mouvoir.

§ 1. — PROJECTILES A AILETTES

Les ailettes sont en un métal moins dur que celui de la bouche à feu, en zinc si celle-ci est en bronze, et en bronze ou en cuivre si elle est en fonte ou en acier. Elles correspondent par deux ou par trois aux diverses rayures du canon, et forment sur le projectile deux couronnes dans le premier cas, trois dans le second : une seule couronne, même en la mettant dans le même plan que le centre de gravité, ce qui serait indispensable, n'assurerait pas suffisamment la position de l'axe.

Les ailettes sont posées à froid dans des *alvéoles* creusées à l'outil sur la surface du projectile ; ces alvéoles présentent sur tout leur pourtour une sorte de queue d'aronde dans laquelle, par compression ou à coups de marteau, le métal de l'ailette a été forcé de s'épanouir.

Fig. 1. — *Projectiles de l'artillerie française du système 1859.*

Fig. 1 *bis.* — *Détail d'une ailette.*

Voir aussi la figure 54 et la figure 76-77

§ 2. — **CHEMISE DE PLOMB**

Elle commence au-dessous de l'ogive par un tronc de cône qui, dans le chargement, s'applique contre celui sur lequel commencent les rayures, et elle s'étend jusque près du culot, en présentant parfois une interruption sur sa partie moyenne. Pour diminuer le frottement contre la paroi de l'âme, on la forme de parties alternativement saillantes et rentrantes : les premières, dites *bourrelets* ou *cordons*, pénètrent seules jusqu'au fond des rayures, et les secondes, qui ne concourent pas au forcement, servent à assurer la solidarité des premières ainsi que l'adhésion à la fonte. Afin que les gaz ne puissent pas se répandre autour de la partie cylindrique du projectile lorsqu'il n'est pas encore entièrement engagé dans la partie rayée, il est bon (voir la fig. représentant l'obus de 5) que le premier cordon près du culot ait un diamètre un peu plus grand que la chambre du projectile : il s'appuie contre un petit tronc de cône qui sépare cette chambre de celle de la gargousse.

Au début (artillerie prussienne avant 1864), l'enveloppe de plomb était simplement coulée autour du noyau en fonte ; l'adhérence était obtenue, dans le sens longitudinal, au moyen de bourrelets ménagés sur celui-ci et correspondant à ceux de l'enveloppe, dans le sens de la circonférence, par des coupures faites à ces bourrelets en divers endroits[1]. Ce mode de construction exigeait une enveloppe très épaisse, représentant au moins 1/5 du

(1) Voir la figure 76 page 67

poids total du projectile, nuisant à la pénétration dans les obstacles résistants, diminuant le nombre des éclats et amortissant leur force vive.

Aujourd'hui l'adhésion est obtenue par une espèce de soudure. On burine, avec une pointe d'acier et sur le tour, des sillons peu profonds dans

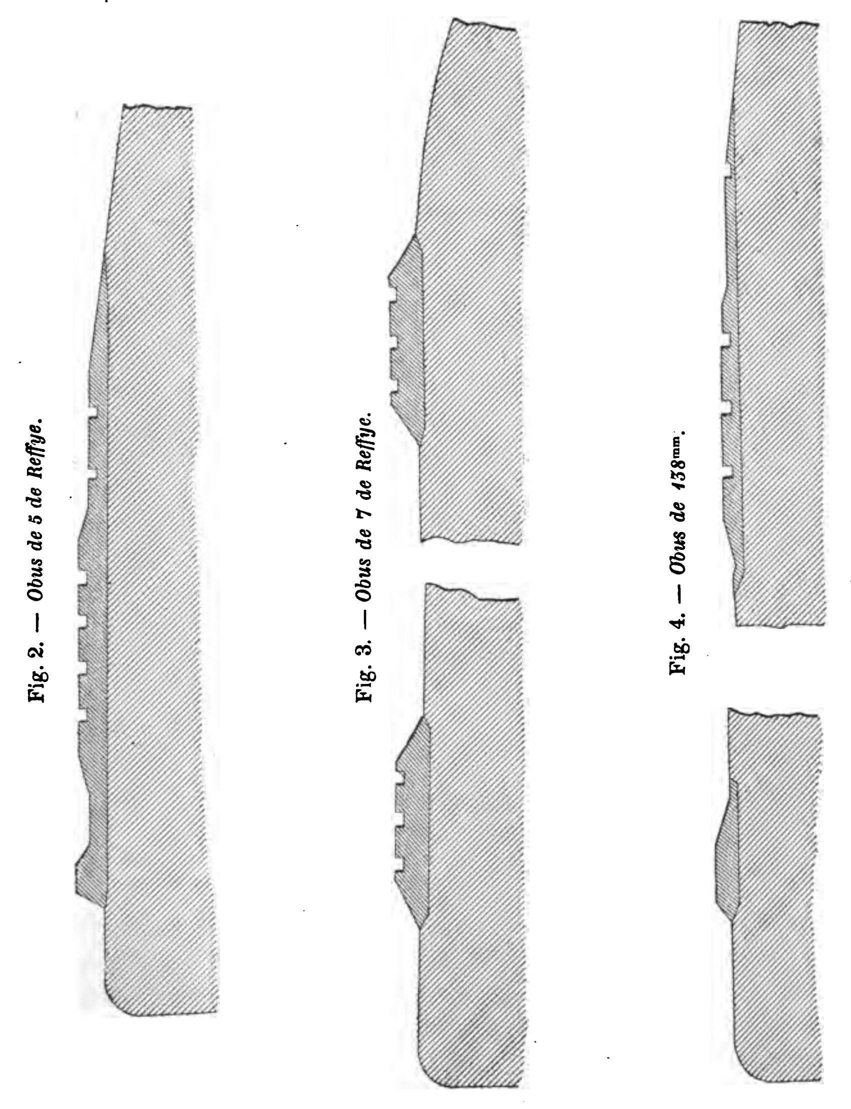


Fig. 2. — *Obus de 5 de Reffye.*

Fig. 3. — *Obus de 7 de Reffye.*

Fig. 4. — *Obus de 138mm.*

les parties qui doivent recevoir l'emplombage; on chauffe au rouge sombre et on décape ces parties au sel ammoniac; on plonge alors le projectile pendant quelques instants dans un bain de zinc en fusion, puis dans un bain formé par parties égales de zinc et d'étain. Cela fait, on place le projectile

dans un moule et on y coule du plomb; celui-ci adhère fortement sur les parties qui ont été écroutées et étamées, et sur les autres il s'enlève facilement au tour, où le projectile est reporté pour recevoir sa forme définitive.

Le forcement par chemise de plomb donne un bon centrage, même avec d'assez larges tolérances dans les dimensions, parce que l'enveloppe se moule bien dans les rayures et fournit au projectile une grande surface d'appui. Mais cette enveloppe est arrachée dans le tir aux fortes charges, et ne satisferait pas aux exigences d'une artillerie puissante. D'ailleurs, on lui faisait déjà les reproches suivants :

1° Elle se déforme facilement, ce qui nécessite beaucoup de précautions dans les transports (empaillage, caisses à un seul projectile, etc.), sous peine de rencontrer un grand nombre de projectiles ne pouvant plus entrer dans les canons;

2° L'emplombage des rayures, malgré tous les artifices de graissage et de nettoyage, altère bientôt la justesse du tir, et exige l'adoption d'instruments spéciaux pour désemplomber;

3° L'enveloppe de plomb n'est guère compatible avec la rayure progressive;

4° Elle augmente la résistance de l'air par ses bourrelets saillants et par les sillons que les cloisons y ont creusés; de plus, ainsi qu'il a déjà été dit, elle nuit aux effets d'éclatement et de pénétration;

5° Enfin la pose de l'enveloppe ne pouvant se faire qu'à chaud, cette opération peut altérer la structure moléculaire dans les projectiles en acier ou en fonte dure. (Voir plus loin, chap. 3, § I.)

§ 3. — CORDONS ET CEINTURES

Avec les canons en acier, on a pu supprimer tous ces inconvénients en remplaçant le plomb par un métal plus résistant. Partout on s'est arrêté au *cuivre rouge*, que recommandent sa *ténacité*, huit fois plus grande que celle du plomb, et son *homogénéité*, qui fait qu'il est entaillé et usé régulièrement par les cloisons.

En Autriche et en Italie, on l'emploie sous forme de *cordons*, au nombre de quatre. Chacun d'eux est formé d'un fil enroulé solidement dans une rainure plus large au fond que sur les bords, puis soudé. Le glissement du cordon dans la rainure est empêché par un ergot qui s'engage dans une petite cavité ménagée au fond de celle-ci. (Voir fig. 5.)

Plus généralement on emploie des *ceintures* ayant une plus grande hauteur relative, et leur nombre est réduit à deux, l'une près du culot, l'autre sous l'ogive.

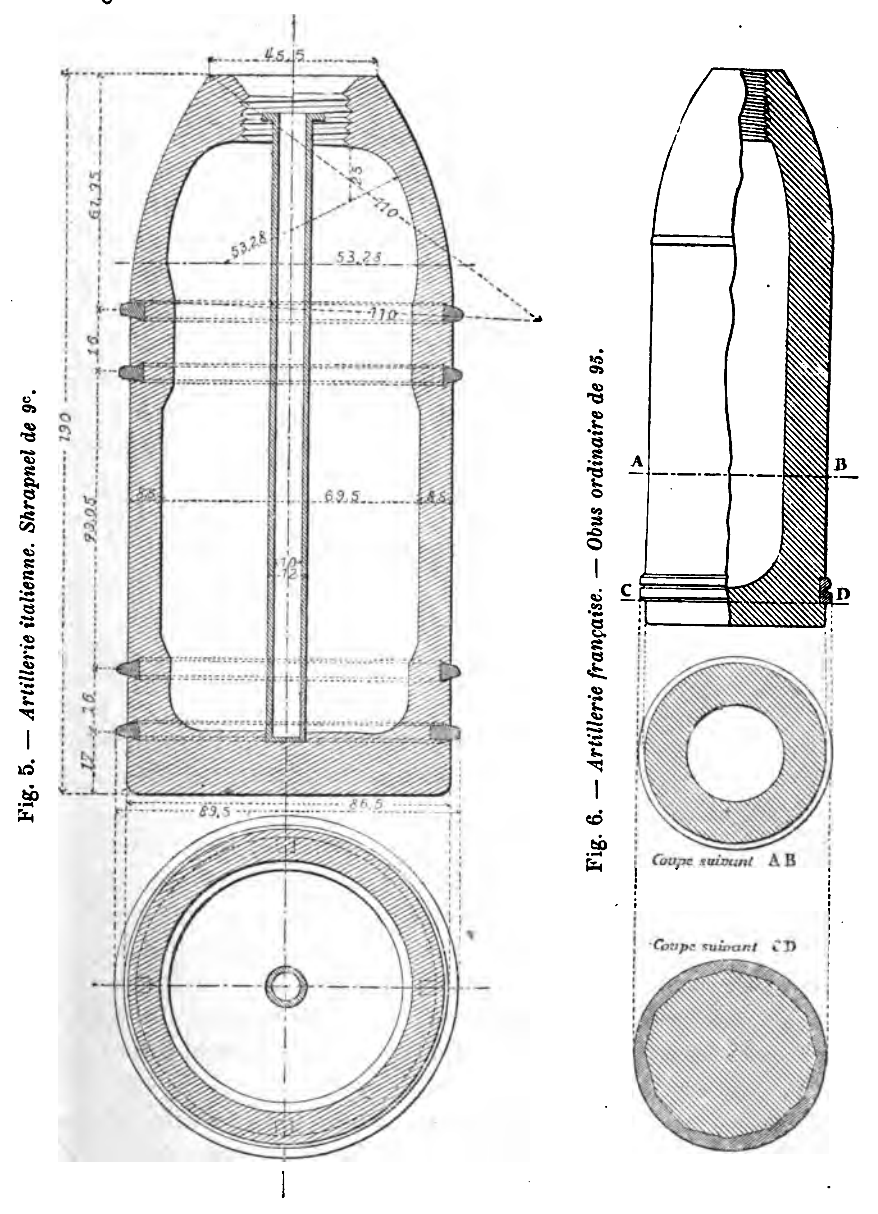


Fig. 5. — *Artillerie italienne. Shrapnel de 9c.*

Fig. 6. — *Artillerie française. — Obus ordinaire de 95.*

Il y a lieu de considérer relativement aux ceintures, le *rôle*, le *profil*, la *position* et la *pose*.

I. — Rôle des deux ceintures.

On pensa d'abord qu'il était nécessaire d'appuyer l'obus dans les rayures par *deux* ceintures placées de part et d'autre du centre de gravité. Mais on reconnut bientôt que celle d'arrière suffirait pour donner l'obturation et la rotation, et celle d'avant, réduite au rôle de *ceinture d'appui*, fut ramenée du diamètre des rayures à celui des cloisons. (Voir fig. 6 et 7.) On y trouva l'avantage de pouvoir employer la rayure progressive. Peu après, on eut même l'idée de supprimer cette ceinture antérieure et de la remplacer par une simple surépaisseur venue de fonte. C'est ainsi que sont faits aujourd'hui les projectiles de l'artillerie française, dans le département de la guerre comme dans celui de la marine. Le renflement d'appui est une surface cylindrique qui fait suite à l'ogive ; il est à peine perceptible, car son diamètre ne surpasse celui du projectile que de quelques dixièmes de millimètre. Voir la figure 17.

La ceinture d'arrière s'appelle aussi, à raison du rôle qui lui est confié, *ceinture forçante* ou *ceinture directrice*.

II. — Profil des ceintures.

Avec les canons à rayure progressive, la largeur de la ceinture forçante varie de 1/8 à 1/11 du calibre : elle doit se rapprocher du minimum qui lui assure une résistance suffisante.

Au début, on la faisait tronconique avec inclinaison vers l'avant, pour faciliter l'introduction du projectile dans la chambre, et rendre le forcement progressif. Souvent aussi, l'on y creusait une ou deux petites gorges qu'on garnissait de graisse. (Voir fig. 7 et 8.) Au point de vue balistique, comme au point de vue de l'usure, ces gorges paraissent être plutôt nuisibles qu'utiles. A forcement égal, la forme de la ceinture paraît d'ailleurs avoir peu d'importance ; dans l'artillerie de terre, on s'est arrêté à celle du rectangle. (Voir fig. 9.)

Le forcement résulte de la différence en plus qu'il y a entre le diamètre de la ceinture et celui du fond des rayures. Il est ordinairement de 4 à 6 dixièmes de millimètre. Lorsqu'il est insuffisant, la ceinture peut être rasée, et ce résultat est presque toujours suivi d'une grave anomalie dans le tir. Aussi réduit-on à l'extrême minimum les tolérances admises sur les dimensions desquelles il dépend.

Les mêmes considérations s'appliquent à la ceinture d'avant lorsqu'elle est forcée aussi (rayures à pas constant). Quand elle ne l'est pas, mais n'a

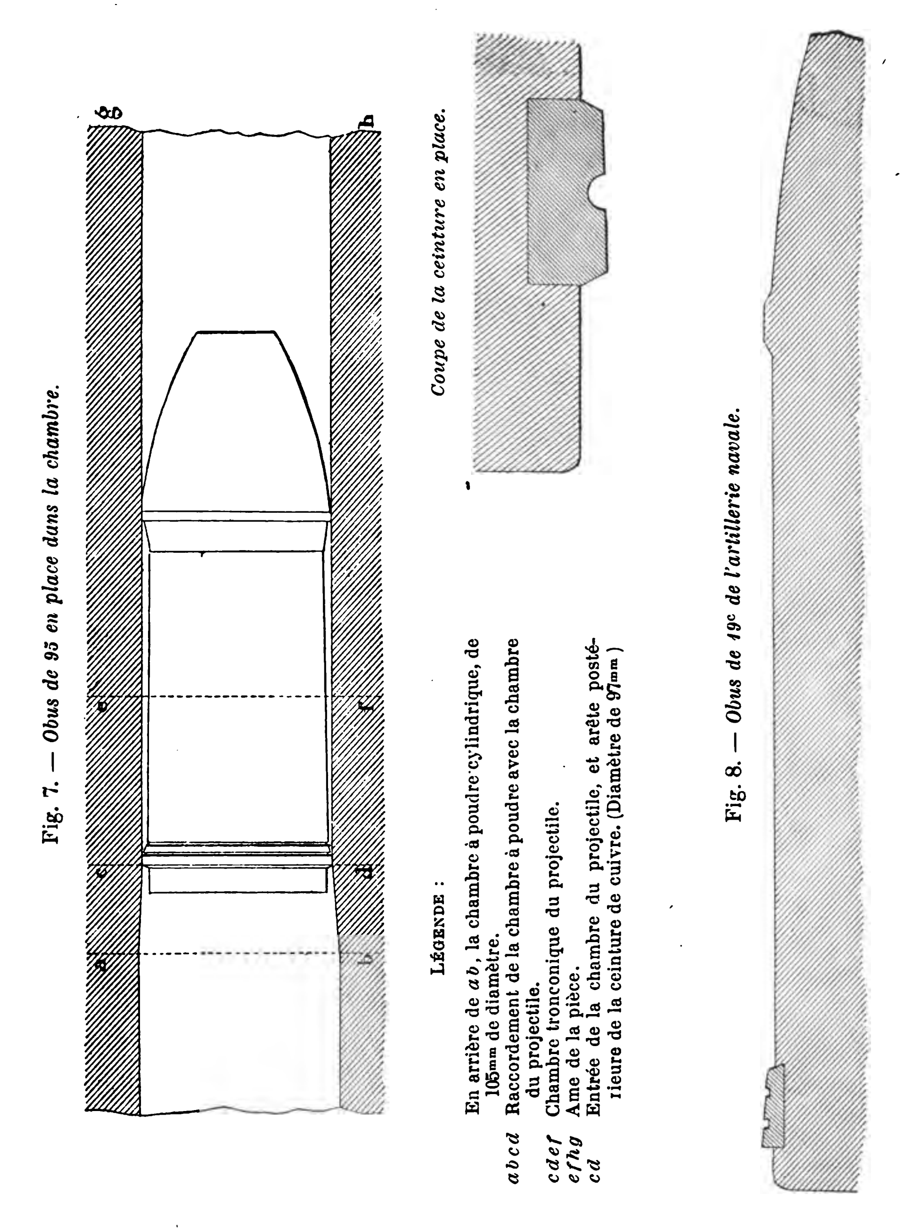


Fig. 7. — *Obus de 95 en place dans la chambre.*

LÉGENDE :

En arrière de *ab*, la chambre à poudre cylindrique, de 105mm de diamètre.
abcd Raccordement de la chambre à poudre avec la chambre du projectile.
cdef Chambre tronconique du projectile.
efhg Ame de la pièce.
cd Entrée de la chambre du projectile, et arête postérieure de la ceinture de cuivre. (Diamètre de 97mm)

Coupe de la ceinture en place.

Fig. 8. — *Obus de 19c de l'artillerie navale.*

qu'un rôle d'appui, il est nécessaire qu'elle ait dans le canon un certain jeu, afin qu'on puisse introduire le projectile dans l'âme jusqu'à ce qu'il soit arrêté par la butée de la ceinture arrière contre le biseau des cloisons. Ce

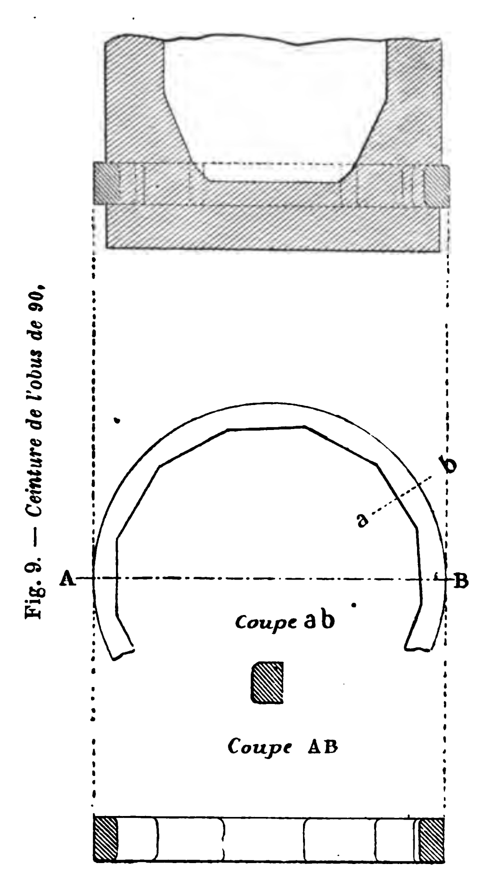


Fig. 9. — Ceinture de l'obus de 90.

jeu, c'est-à-dire la différence entre le diamètre des cloisons et celui de la ceinture (ou du renflement qui en tient la place) est de $0^{mm},5$ pour les petits calibres, et va jusqu'à 1^{mm} pour les gros.

Bien que réduit à un chiffre aussi faible, il donne encore naissance à des battements qui, au moment où le projectile quitte la bouche à feu, engendrent une rotation perturbatrice. Il en résulte que le projectile part en tournant autour d'un axe différant plus ou moins de son axe géométrique; il a dès lors des départs irréguliers et il souffre davantage de la résistance de l'air. On atténue ces défauts en déterminant rationnellement, comme il va être dit, la distance des deux ceintures.

III. — Position des ceintures.

Il doit y avoir entre la ceinture arrière et le culot une largeur *AB* suffisante pour procurer à la première un appui solide. Il en résulte un minimum qu'on peut fixer à 10 millim. environ pour les petits calibres, et il parut d'abord avantageux de se tenir près de ce minimum, afin d'atténuer les actions obliques exercées par les gaz de la poudre qui se répandent tout autour de la partie cylindrique *AB*, actions auxquelles sont dus les battements dont il vient d'être question.

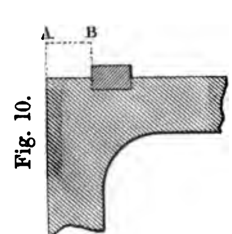


Fig. 10.

D'autre part la distance de la ceinture d'appui à celle d'arrière doit être fixée de manière à affaiblir le plus possible la répercussion de ces mêmes battements d'une ceinture à l'autre. Pour cela, il convient que, si on appelle *d* et *d'* les distances respectives

des deux ceintures au centre de gravité du projectile, et k le rayon de giration transverse, on ait, comme pour les centres de percussion réciproque,

$$dd' = k^2.$$

Une fois arrêtée la position d'une des deux ceintures, si l'on veut obtenir par cette condition celle de l'autre, on n'aura qu'à faire osciller le projectile sur deux couteaux fixés aux extrémités d'un diamètre de la première, et à mesurer la durée t d'une oscillation; on en déduira la distance $l = d + d'$ des deux ceintures par la formule

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Lorsque la ceinture avant est remplacée par un renflement de métal, celui-ci a sa place naturelle à la naissance de l'ogive, et la condition que nous venons d'analyser amène alors à désirer pour la ceinture arrière une distance AB plus grande que le minimum indiqué ci-dessus.

C'est ce qui est arrivé à l'artillerie navale, qui avait adopté en 1870, pour les calibres de

10^c, 14^c, 16^c, 24^c

des distances AB égales à

10^{mm}, 15^{mm}, 15^{mm}, 20^{mm}.

Dans l'artillerie de terre, les calibres les plus voisins sont ceux de

9^c, 12^c, 15^c, 24^c,

et les distances AB y ont des valeurs beaucoup plus grandes, savoir

14^{mm}, 24^{mm}, 29^{mm}, 42^{mm}.

Or on avait remarqué que les canons du second système, entrés d'ailleurs dans la carrière à une date beaucoup plus récente (1877), ont une justesse en portée notablement supérieure. Les projectiles sont guidés par le même dispositif, et il n'était guère permis d'attribuer cette supériorité aux profils intérieurs ou extérieurs; on fut conduit à l'attribuer à la position adoptée pour la ceinture forçante[1].

Des tirs balistiques exécutés à Gavre en 1878-79 confirmèrent cette conjecture. En éloignant graduellement la ceinture du culot, on augmenta la portée et surtout la justesse en portée, et l'on put déterminer une position de maximum, donnant une augmentation qui n'est pas à dédaigner. Voici, par exemple, quelques-uns des chiffres relatifs aux canons de 10^c et de 14^c.

---

1. *Mémorial de l'artillerie navale*, 1878, 3e livraison, page 10 (à la fin du volume). Le profil extérieur y est cependant pour quelque chose; voir ci-après chap. 2, § 2.

BOUCHE A FEU ET CONDITIONS DU TIR	DISTANCE *AB* de la ceinture au culot	PORTÉE moyenne	DÉRIVATION moyenne	ÉCART MOYEN en portée	ÉCART MOYEN en dérivation
Canon de 10c. Poids de l'obus . . . . 12k. Angle de projection . . 20°. Vitesse initiale . . . . 483m. Nombre de coups. . . 173 .	mm 10 (*a*)	6360 m	94.3 m	55.0 m	5.6 m
	30	6557	87.9	36.1	4.4
	40	6567	96.8	34.2	3.4
	50	6558	99.7	58.2	5.1
	60	6483	102.8	55.4	7.7
Canon de 14c. Poids de l'obus . . . . 21k. Angle de projection . . 20°. Vitesse initiale . . . . 455m. Nombre de coups. . . 203 .	15	5420	71.1	49.7	7.9
	20	5564	71.7	55.5	5.4
	30	5902	74.1	29.8	8.0
	40	5962	76.4	31.1	6.8
	50	5938	76.6	57.9	8.0

(*a*). — Les nombres de la première ligne sont extraits des tables de tir réglementaires.

Ce tableau fait ressortir une influence légère sur la dérivation, beaucoup plus marquée sur la portée, très forte sur l'écart moyen en portée. Il en résulte en effet que le maximum de portée et celui de justesse en portée (et même celui de justesse en direction pour le canon de 10c) sont obtenus avec une ceinture placée à 40mm du culot sur l'obus de 10c, et à 41 sur l'obus de 14c; avec le premier, on gagnerait ainsi 200m sur la portée, et on réduirait l'écart moyen en portée de 1/3; avec le second, on gagnerait 540m sur la portée, et on réduirait l'écart en portée de 1/2.

Dans les expériences dont il s'agit, la portée et l'écart moyen en portée ont suivi toujours une marche très sensiblement parallèle; cela tient à ce que les battements que l'on veut combattre augmentent simultanément la résistance de l'air et l'irrégularité des départs. (Voir le chap. suivant, § 1.)

Le résultat d'ensemble des expériences peut se résumer ainsi, en ce qui concerne la position de la ceinture :

1° Les valeurs les plus avantageuses de la distance *A B* seraient respec-

tivement, pour les quatre calibres de l'artillerie navale cités plus haut :

40mm, 38mm, 38mm, 42mm;

il en résulterait un accroissement relatif de

0,03 0,09 0,12 0,18

sur la portée, et une diminution relative de

0,62 0,55 0,50 0,63

(plus de moitié!) sur l'écart moyen en portée.

2° L'influence de la position de la ceinture diminue quand les rayures sont plus inclinées, quand le calibre augmente, quand le projectile est remplacé par un autre plus dense ou moins long, quand la vitesse initiale croît.

3° La meilleure position de la ceinture ne change pas avec l'inclinaison des rayures; il est probable qu'elle ne change pas non plus avec la vitesse initiale.

Cet exemple donne une idée de l'influence que peut exercer sur la valeur balistique du canon un détail en apparence insignifiant, et des études minutieuses qui ont dû présider à l'organisation de la nouvelle artillerie.

IV. — Pose des ceintures.

Il faut que la ceinture soit reliée au projectile de manière qu'elle résiste efficacement à l'effort d'arrachement suivant l'axe, et en outre qu'elle ne puisse pas glisser dans le sens perpendiculaire, puisqu'elle est chargée précisément d'entraîner le projectile dans la rotation que les rayures lui font prendre à elle-même.

Trois moyens principaux peuvent être employés pour obtenir cette liaison.

1° *Travail à la main.* — On tourne dans le projectile un logement dont la section est en forme de queue d'aronde, et on relève au fond, par quelques coups de pointeau, des envies destinées à empêcher la ceinture de tourner. Celle-ci est débitée dans une barre de cuivre rouge ayant la même section, mais ayant préalablement reçu à la filière une forme un peu concave sur le côté qui sera intérieur et un peu convexe sur l'autre. Ces bandelettes doivent avoir rigoureusement la longueur voulue, et leurs extrémités sont taillées en biseau pour qu'elles se recouvrent. Un ouvrier exercé les refoule dans le logement à coups de marteau.



Fig. 11. — *Barrettes montées au marteau.*

Ce procédé, qu'on n'emploie plus guère, a l'inconvénient d'exiger des ouvriers exercés, sans quoi les coups de marteau peuvent altérer le projectile; il serait difficilement applicable dans une fabrication en grand.

2° *La sertisseuse mécanique.* — Dans le montage à la machine, on emploie, au lieu de ces barrettes rectilignes, des anneaux ayant pour profil méridien une section transversale analogue, obtenue au moyen d'un laminage circulaire, et ayant un diamètre juste assez grand pour que le projectile y puisse passer. Celui-ci, préparé comme pour le montage à la main, est placé debout sur un support ad hoc; la ceinture, passée autour de lui et soutenue à bonne hauteur, est refoulée dans son encastrement par huit presses articulées. Un indicateur de pression fait connaître à chaque instant l'effort exercé, afin qu'on ne soit pas exposé à atteindre la limite qui fissurerait ou briserait le projectile, ou infligerait des avaries à la machine elle-même. (Voir, pour amples détails, *Mémorial de l'artillerie navale*, 1875, liv. 2, p. 303-312.)


Fig. 12. — *Barrettes montées à la machine.*

Ce procédé, qui est celui employé dans la marine, donne un montage rapide, régulier, toujours identique à lui-même, et plus favorable à la justesse du tir que le montage à la main.

3° *Ceinture placée dans le moule avant la coulée.* — La ceinture est débitée dans un tube de cuivre dont la section extérieure est un cercle de diamètre un peu plus grand que celui du projectile, et dont la section intérieure est un polygone régulier (dodécagone) inscrit dans un cercle de diamètre un peu plus petit. Elle est logée à l'endroit convenable dans le moule, à l'intérieur duquel elle fait saillie de quelques millimètres. A la coulée, la fonte emprisonne cette partie saillante, et toute rotation ultérieure est impossible à raison de la forme polygonale de la surface de contact. (Voir la figure 9, page 10.)

Ce procédé, adopté pour les obus de Bange, a l'avantage d'être simple pour la main-d'œuvre, rapide pour l'exécution, efficace pour la liaison demandée.

§ 4. — PRINCIPE DE L'EXPANSION

Dans les systèmes à expansion, la partie qui doit se mouler dans les rayures, au lieu d'avoir reçu d'avance le diamètre exigé par le forcement, ne l'acquiert qu'au moment du départ, par l'effet de la pression des gaz. Jusque-là, elle avait un diamètre moindre, permettant au projectile de se mouvoir librement dans l'âme, et c'est ainsi que le principe du forcement se trouve concilié avec celui du chargement par la bouche.

De même qu'avec l'autre système de forcement, on peut ramener les divers modèles à deux types, celui à chemise, et celui à ceinture : le premier

n'exigeant guère de précision dans la fabrication, mais incapable de répondre aux exigences d'une artillerie puissante ; le second susceptible, au contraire, de recevoir toutes sortes de perfectionnements et de faire concurrence aux meilleurs modèles des autres systèmes. On voit que ces deux types correspondent respectivement à ceux des §§ 2 et 3, et présentent les mêmes propriétés opposées.

I. — Chemise expansive.

Nous trouvons le premier type dans le projectile Hotchkiss, employé aux États-Unis. Le corps du projectile se termine à l'arrière par une partie cylindrique de moindre diamètre, qui se relie par un tronc de cône avec une gorge creusée à la naissance de l'ogive. Cette partie cylindrique s'emboîte dans un culot creux, dont le bord antérieur est une arête qu'un tronc de cône symétrique du précédent relie avec une gorge voisine de la tranche postérieure. L'obus n'est pas enfoncé à fond dans le culot, et la position relative de ces deux parties est maintenue par du plomb, qui remplit complètement l'intervalle compris entre les deux gorges : c'est la chemise.

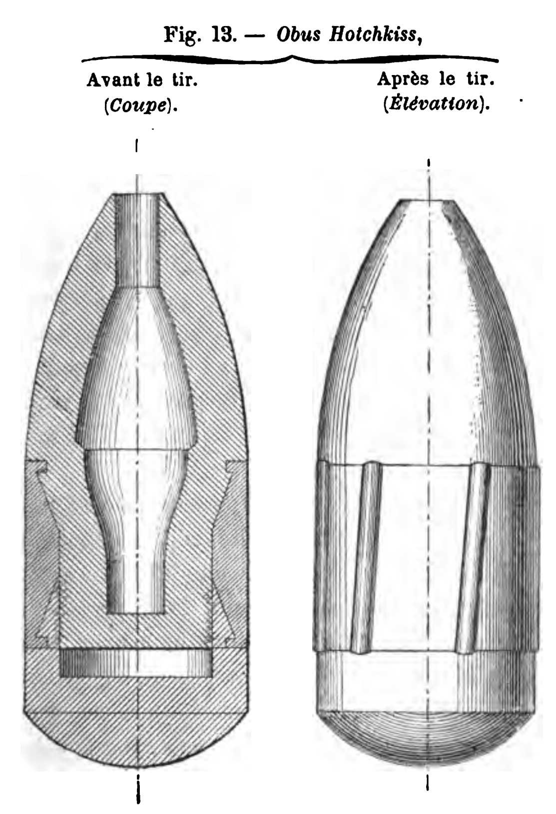


Fig. 13. — *Obus Hotchkiss*,

Lorsqu'on tire, le corps de l'obus est renfoncé dans le culot par l'effet de l'inertie (comparez chap. V, § 2) ; le biseau du culot pénètre sous la chemise de plomb, la refoule dans les rayures, et produit ainsi le forcement.

II. — Ceinture expansive.

Les formes les plus perfectionnées de la ceinture expansive se trouvent dans les produits de la maison Armstrong, dont l'usine est à Elswick (Angleterre). Nous en citerons deux : l'obus d'un canon de campagne proposé en 1878 à l'artillerie espagnole, et celui des célèbres canons de cent tonnes, adoptés en 1876 par l'artillerie italienne.

Dans le premier, la ceinture expansive, qui est en cuivre allié à une très petite portion de zinc, et dont la forme est celle d'un U renversé (∩), est placée comme une bague autour du culot, dont le diamètre est diminué en conséquence. Elle peut tourner autour du projectile et ne tient à lui que par quatre ergots, qui entrent dans une gorge circulaire *a*, creusée sur la partie cylindrique de son encastrement; la partie de ce même encastrement qui est perpendiculaire à l'axe est taillée en dents de scie. C'est en s'incrustant dans celles-ci que la ceinture entraîne le projectile dans le mouvement de rotation que les rayures lui font prendre à elle-même.

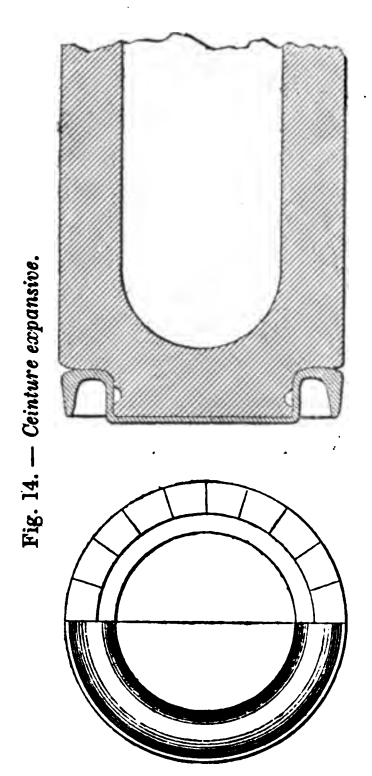


Fig. 14. — *Ceinture expansive.*

Dans le projectile du canon de cent tonnes, toute la partie cylindrique, depuis le culot jusqu'à l'ogive, a un diamètre assez petit, relativement à celui des cloisons du canon, pour qu'on puisse la laisser telle qu'elle est venue de fonte, et qu'on ne soit pas obligé de la tourner. Mais il y a près de l'ogive un renflement analogue à celui des projectiles de Bange (§ 3), lequel est tourné avec précision au diamètre voulu, et joue le rôle de ceinture d'appui. La ceinture forçante présente, comme une boîte à fond percé, deux parties à angle droit, l'une cylindrique, l'autre plane. Celle-ci porte contre le culot, où elle est fixée par douze vis. Celle-là entoure l'arrière du projectile, qui est chanfreiné et taillé en dents de scie ; c'est en s'incrustant dans ces dents

de scie par sa surface intérieure et dans les rayures du canon par sa surface extérieure, qu'elle imprime au projectile un mouvement de rotation[1].

Fig. 15. — *Artillerie italienne. — Projectile du canon de 100 tonnes, pesant 908 kilog.*

Entre un projectile ainsi organisé et les projectiles à forcement, étudiés dans le § précédent, il n'y a presque pas d'autre différence que celle-ci : dans l'un, la ceinture forçante est nécessairement adjacente au culot, tandis que, dans les autres, elle peut en être éloignée plus ou moins. Quant aux rayures du canon, elles sont les mêmes dans les deux cas.

Voilà où en est aujourd'hui le système du chargement par la bouche. Ses partisans sont parvenus à le débarrasser des rayures profondes qui affaiblissaient le canon, des ailettes saillantes qui défiguraient le projectile, et surtout du vent, qui interdisait toute prétention à la justesse du tir. Aussi affichent-ils l'espoir de faire revenir un jour à ce système les artilleries qui l'ont abandonné, et de ne laisser au chargement par la culasse que les bouches à feu qui doivent être mises en batterie derrière une masse couvrante[2].

1. Il sera de nouveau question de ce projectile dans le chapitre VIII.

2. Voir, par exemple, la brochure intitulée : *Le canon Armstrong de 100 tonneaux à la Spezzia, lettres écrites au journal* le Times *par un correspondant spécial.* — Londres, 1877. — Ce correspondant spécial n'était autre qu'un des principaux ingénieurs de la maison Armstrong.

L'amour des Anglais pour le chargement par la bouche paraît toutefois avoir été

En France, des recherches sont faites par l'artillerie navale, depuis 1878, en vue de l'adoption d'un obusier court, à chargement par la bouche et à forcement par ceinture expansive : on y trouverait des avantages d'économie, de simplicité et surtout de facilité d'entretien dans les batteries des côtes. La figure 16 représente une des principales formes essayées ; la ceinture est en cuivre et serait fixée autour du culot, soit par vissage, soit par sertissure.

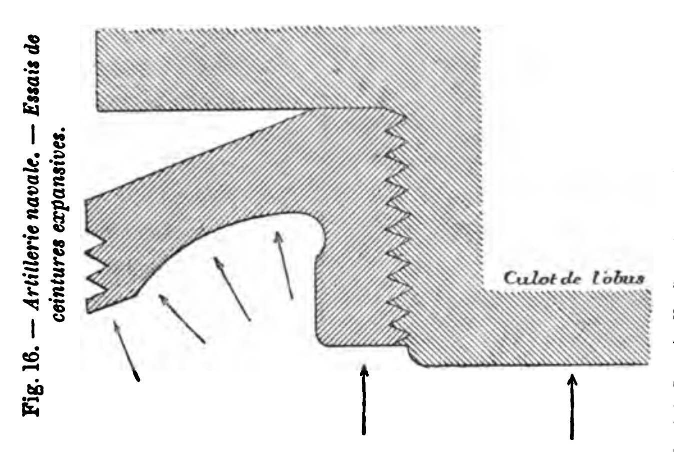


Fig. 16. — *Artillerie navale. — Essais de ceintures expansives.*

---

grandement refroidi par quelques éclatements récents. (Voir : *Revue d'artillerie*, mars 1880.)

CHAPITRE DEUXIÈME

CONDITIONS RÉSULTANT DU MOUVEMENT DU PROJECTILE DANS L'AIR

Au point de vue du mouvement dans l'air, il faut favoriser le plus possible : — la régularité du départ, — la conservation de la vitesse, — la stabilité de l'axe.

§ 1. — RÉGULARITÉ DU DÉPART

La régularité du départ est beaucoup mieux assurée avec les projectiles *forcés*, parce qu'ils n'éprouvent presque pas de battements dans l'âme. Mais dans tous les systèmes, il est un détail de fabrication qui a une influence marquée sur cette régularité : c'est l'excentricité plus ou moins grande du centre de gravité, pouvant résulter de soufflures dans les projectiles massifs, et d'un manque d'uniformité d'épaisseur dans les projectiles creux. A cet égard, il faut réduire au minimum les tolérances accordées au fabricant.

Supposons en effet qu'il y ait une distance δ du centre de gravité G à l'axe A de la surface *extérieure*. Par suite de la rotation que les rayures font prendre au projectile autour de A, le point G décrira, sur un cylindre ayant A pour axe et δ pour rayon, une hélice de pas h égal à celui des rayures. A la bouche de la pièce, cette hélice a une tangente qui, suivant la position initiale du projectile, peut coïncider avec une quelconque des génératrices d'un hyperboloïde de révolution ayant son cercle de gorge dans la tranche de la bouche et δ pour rayon de ce cercle de gorge. De plus, d'un projectile à un autre, δ lui-même peut prendre toutes les valeurs comprises entre O et une limite extrême dépendant des tolérances. Or c'est la tangente en question, et non plus l'axe de la bouche à feu, qui forme la *ligne de projection* et détermine le premier élément de la trajectoire.

On sait que, dans la fabrication ordinaire des projectiles, l'arbre qui porte

le noyau destiné à former la cavité intérieure n'est soutenu que par une de ses extrémités, laquelle traverse l'œil de l'obus. La garantie de concentricité est augmentée lorsqu'on soutient cet arbre par les deux extrémités; alors l'autre laisse dans le culot un trou qu'on ferme ensuite solidement avec un bouchon à vis.

§ 2. — CONSERVATION DE LA VITESSE

Il est admis que la résistance de l'air est proportionnelle, pour des projectiles semblables et semblablement placés, à l'aire de la plus grande section transversale. Si donc nous appelons

P, le poids du projectile,

r, le rayon de sa section droite, exprimé en millimètres,

k, un coefficient dépendant de sa forme,

ρ, la résistance de l'air sur un élément plan de un millimètre carré pour une vitesse quelconque, mais déterminée,

$-j$, l'accélération négative résultant de l'action de ce fluide,

$f(v)$, une fonction de la vitesse qu'il est inutile de préciser ici,

nous avons

$$j = \frac{k.\rho.\pi r^2.\, f(v)}{\left(\frac{P}{g}\right)} = k'.\frac{\rho}{\left(\frac{P}{\pi r^2}\right)}.\, f(v).$$

et de cette formule résultent les conséquences suivantes.

I. — Section méridienne.

Il faut rendre minimum le coefficient k, en n'admettant sur la surface du projectile que des courbures continues et douces. Newton a cherché le premier quelle doit être la section méridienne d'un corps de révolution *se mouvant dans la direction de son axe* pour que la résistance soit minimum. Ce problème est célèbre dans l'histoire des mathématiques parce qu'il a donné naissance à cette branche de l'analyse infinitésimale qu'on appela plus tard le *calcul des variations;* mais il est sans intérêt pour l'artilleur parce qu'il repose sur des hypothèses trop éloignées de la réalité, et nous ne le citons que pour mémoire.

Par des expériences faites en 1867, le professeur anglais Bashforth fut conduit à indiquer comme la forme la plus avantageuse de la tête celle d'un demi-ellipsoïde ayant une longueur égale au calibre. Aujourd'hui on tend à

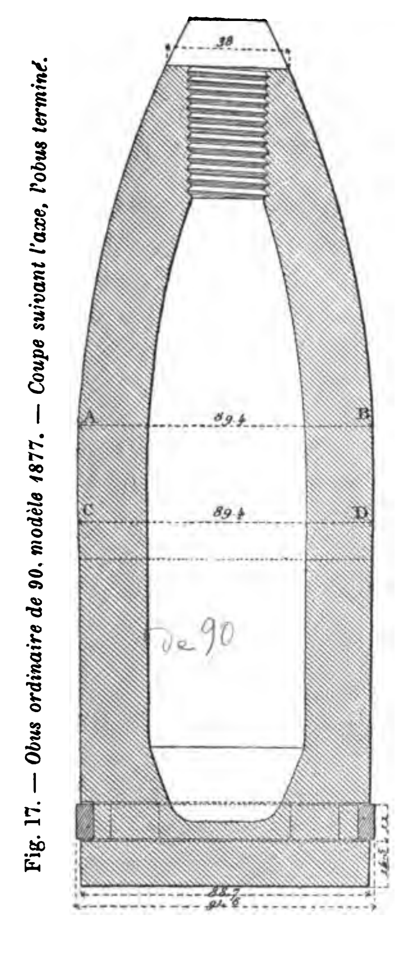


Fig. 17. — *Obus ordinaire de 90. modèle 1877. — Coupe suivant l'axe, l'obus terminé.*

l'effiler encore plus, malgré la diminution de capacité intérieure qui en est la conséquence, afin de faciliter l'écoulement des filets aériens le long des sections méridiennes. Les obus de Bange sont très remarquables à ce point de vue, et le fait suivant montre que leur auteur a été bien inspiré en leur donnant une ogive plus effilée que ne l'indiquait Bashforth.

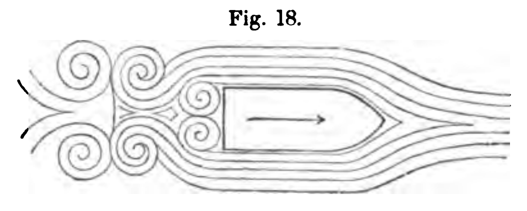
Si on prend l'obus de 24ᶜ de l'artillerie navale, et si, comme l'indiquent les expériences relatées chap. 1, § 3, on y déplace la ceinture forçante pour la porter à la distance du culot la plus avantageuse, laquelle est de 42ᵐᵐ, on augmente la portée de 200ᵐ pour l'angle de 20°, et de 400ᵐ pour celui de 30°. Or ces portées sont encore inférieures respectivement de 400ᵐ et de 500ᵐ à celles que l'on obtient avec le canon et le projectile de la guerre. De telles différences sur des portées de 8 et de 10 kilomètres ne sont pas très importantes; mais, ajoute la commission de Gavre, elles indiquent cependant une perte de vitesse moins rapide et une trajectoire plus tendue; on ne pourrait les faire disparaître qu'avec un projectile ayant une ogive *plus allongée*, par suite moins résistante, et dont la chambre à poudre aurait une moins grande capacité[1].

La courbe génératrice de l'ogive est généralement un arc de cercle ou de parabole. On n'en conserve la pointe que dans les projectiles de rupture (voir chap. 4, § 2); dans les autres cas, elle est remplacée par un méplat, qui reçoit la fusée.

La forme de l'arrière doit avoir également une influence notable sur la conservation de la vitesse. Il semble *à priori* qu'il y ait avantage à le former aussi d'une partie déclive afin de supprimer les remous produits par l'air se

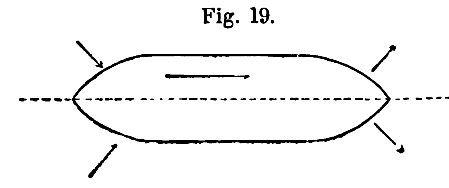
1. *Mémorial de l'artillerie navale*, 1878, liv. III, page 11 (à la fin du volume).

Fig. 18.



précipitant dans le vide que laisse derrière lui un projectile à culot plat (fig. 18). C'est ainsi qu'on a été conduit à proposer les projectiles dits *symétriques* ou *pisciformes* (fig. 19). Avec un pareil projectile, disent leurs promoteurs, la force vive imprimée aux molécules aériennes par la partie avant est restituée par d'autres molécules à la partie arrière; le mouvement se fait comme dans un boyau élastique qui s'ouvre en vertu de la pression exercée par la première, et se referme en exerçant sur la seconde une pression égale; il s'opère ainsi, dans ces deux régions, une transformation successive et sans perte de vitesse en pression et de pression en vitesse, et la résistance disparaît.

Fig. 19.



Dans des essais de canons Whitworth faits à Calais en 1874[1], on fut frappé de la supériorité que présentèrent des obus à culot diminué, et comme tension de trajectoire, et comme justesse de tir. Jusqu'ici ce fait est spécial au système Whitworth, et on ne voit dans les artilleries officielles que des projectiles à arrière cylindrique et culot plan[2] : cette forme est celle qui se prête le mieux à la fabrication et à l'emmagasinage, et elle donne une répartition très uniforme du choc des gaz contre le projectile au moment du départ.

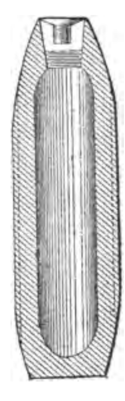


Fig. 20. — *Obus Withworth à arrière tronconique.*

Fig. 21. — *Obus Withworth à arrière cylindrique.*

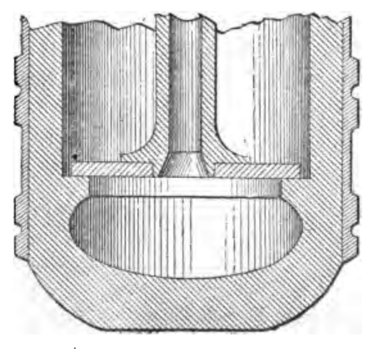


Fig. 22. — *Artillerie russe.* Culot du Shrapnel de campagne.

1. Voir : *Revue d'artillerie*, mars 1874, pages 505-533.

2. Toutefois, dans l'artillerie russe (voir fig. 22), l'arête est remplacée par un grand chanfrein, dont la raison n'appartient pas à l'ordre d'idées dont il s'agit ici, car on voit des *jarrets* prononcés de part et d'autre de ce chanfrein.

II. — Poids par unité de surface de la section droite.

Il faut augmenter le plus possible le rapport $\frac{P}{\pi r^2}$, qu'on appelle le ***poids par unité de surface de la section droite***, et qui, multiplié par une constante numérique, donne le ***coefficient balistique***.

Considérant d'abord le numérateur, on voit que, pour avoir un projectile lourd, il faut le confectionner avec une matière première de grande densité. Parmi les métaux de prix abordables, le plomb, avec sa densité de 11,188, se présentait en première ligne; aussi a-t-il été employé de tout temps avec les armes portatives, mais son défaut de résistance à l'écrasement le rend impropre au service de l'artillerie. Les premiers boulets furent faits avec la pierre, qui a une densité de 2,50 à 2,70, et, pour en obtenir quelque chose, on était obligé de les faire énormes. On prit bientôt la fonte, dont l'usage *presque* exclusif s'est conservé jusqu'à nos jours. Elle a une densité de 7,032 à 7,22; elle a assez de ténacité pour pénétrer dans des obstacles en maçonnerie ou en bois, et elle est cassante au degré qui semble convenir le mieux pour les effets d'éclatement; enfin elle est d'un prix peu élevé, soit comme matière première, soit comme mise en œuvre, propriété importante, car les approvisionnements et les consommations de projectiles sont très considérables. On verra plus loin (chap. 3, § 2, et chap. 4, § 2) deux cas dans lesquels elle s'est trouvée insuffisante, et où l'artilleur a dû faire appel à un autre métal.

Pour une densité donnée, le rapport du poids à la section droite ***sera d'autant plus grand que le projectile sera plus long.***

Dès l'invention des armes à feu, la forme sphérique fut donnée aux projectiles, et elle s'est maintenue jusqu'à une époque voisine de la nôtre[1].

1. Tout en convenant que c'était la seule qu'on sût employer, on présentait les avantages suivants à l'appui de la forme sphérique :

1° Si on suppose la sphère parfaite et la masse uniformément répartie, la surface présentée à l'air sera la même tout le long de la trajectoire, et quel que soit le mouvement du projectile sur lui-même, d'où il suit, disait-on, que la résultante des actions de l'air passera toujours par le centre de gravité. — Mais, en réalité, le projectile n'est jamais parfaitement centré, c'est-à-dire qu'il y a toujours un certain écart entre son centre de figure et son centre de gravité, ce qui fait que la rotation s'accomplit autour d'un axe excentrique, différemment placé à chaque coup par rapport à la direction du mouvement.

2° Le boulet sphérique, par la facilité et la régularité avec lesquelles il ricoche, est

Mais elle ne comporte ni une grande portée, parce qu'elle n'est pas la plus favorable à la conservation de la vitesse, ni une grande justesse à cause des mouvements irréguliers que le projectile prend autour de son centre. Aussi, bien des tentatives ont été faites pour obtenir des projectiles allongés. En 1627, au siège de la Rochelle, les Anglais lancèrent des obus cylindriques; en 1756, Robins essaya des projectiles ayant la forme d'un œuf; en 1770, on expérimenta à La Fère des projectiles cylindriques avec tête hémisphérique et culot évidé; en 1775, Hutton construisit des projectiles terminés à chaque bout par un hémisphère et ayant deux calibres de long; enfin, en 1808, Guyton-Morveau proposa des projectiles cylindriques, avec une ceinture en plomb pour supprimer le vent. Ces expérimentateurs avaient surtout en vue d'augmenter la force de percussion du projectile; mais, bien que le principe des rayures fût connu dès la fin du quinzième siècle, aucun d'eux n'eut l'idée de l'associer avec le projectile oblong pour donner à celui-ci une rotation autour d'un axe principal d'inertie, et ils ne purent l'empêcher de faire la culbute ou de se traverser une fois sorti de la bouche à feu. Ce résultat n'a été obtenu qu'en 1828 par le capitaine français *Delvigne* pour les armes portatives, et qu'en 1846 par le major piémontais *Cavalli* pour les canons.

Les projectiles des premières artilleries rayées avaient de un calibre et demi à 1 cal. 3/4 de longueur. Dès 1856, Withworth voulut aller plus loin, et des expériences faites avec des longueurs de 2 à 7 calibres (voir fig. 23) lui firent adopter celle de *trois calibres* comme la plus avantageuse. Les expériences de Bashforth mentionnées dans le § précédent la porteraient même à 3 1/2.

L'allongement est limité par les conditions suivantes :

1° *La stabilité* du projectile pendant son trajet dans l'air; voir le § suivant.

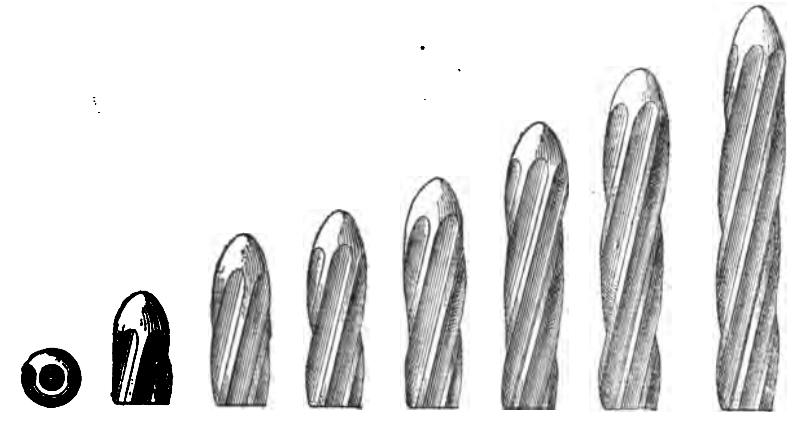
éminemment propre à *fouiller* le terrain d'un champ de bataille. — Aujourd'hui cette propriété a perdu toute son importance à raison de l'énorme progrès réalisé dans la justesse du tir et dans les effets d'éclatement; vers 1874, l'artillerie russe avait bien essayé de la faire revivre dans un projectile assez bizarre qui, sous le nom de *charoch*, prétendait réunir ensemble le boulet roulant et l'obus explosif; mais ce projectile ne vécut guère plus d'un an.

3° Le projectile sphérique était d'une fabrication très facile, et sa forme était très favorable à la rapidité du tir.

4° Enfin, beaucoup d'écrivains citaient encore comme un avantage de la forme sphérique, la propriété d'avoir une surface minimum pour un poids donné. — Mais, dans le projectile, ce n'est pas à la surface totale qu'il faut comparer le poids, c'est seulement à la partie de cette surface sur laquelle agit la résistance de l'air; et c'est là justement la cause principale de l'infériorité de la forme sphérique.

2° *La fatigue du canon.* Si on appelle p_0 la pression, par millimètre carré, qui règne en arrière du culot, à un instant donné, pendant le trajet du pro-

Fig. 23. — *Projectiles Withworth de 1, 2, 3, 3 1/2, 4, 5, 6 et 7 calibres de long.*
(Cercle inscrit: 33mm,5; cercle circonscrit: 49mm,4).



jectile dans l'âme, l'accélération j' du projectile à cet instant a pour valeur

$$j' = \frac{\pi r^2 p_0}{\left(\frac{P}{g}\right)} = \frac{p_0 g}{\left(\frac{P}{\pi r^2}\right)},$$

et elle est inversement proportionnelle à la longueur : la vitesse de sortie $v = \int j' \, d\, t$ sera donc d'autant moindre que celle-ci sera plus grande, toutes les autres choses restant les mêmes. Lorsqu'en 1859 on donna aux projectiles une longueur relative de 1 3/4, le rapport $\frac{P}{\pi r^2}$ devint environ *deux fois* plus grand qu'il n'était avec les projectiles sphériques; mais, comme on ne put pas augmenter p_0 dans la même proportion, la vitesse de sortie, qui était auparavant de 500m, fut réduite à 340 au plus. Malgré cela les avantages balistiques du nouveau système furent assez sérieux pour obliger les puissances à l'adopter promptement. Aujourd'hui, avec une longueur de 3 calibres, le rapport $\frac{P}{\pi r^2}$ a été porté du double au triple, et en même temps, on a pu ramener la vitesse à 500m.

Telle est la mesure du progrès réalisé depuis 1871 par l'artillerie, progrès bien plus considérable, en fait, que ne le fut celui marqué par l'invention même des canons rayés. Voilà aussi pourquoi des matières qui jouissaient d'une préférence séculaire, le bronze pour les canons, le bois pour les affûts, se sont trouvées tout d'un coup au-dessous de leur mission, et ont dû faire place à d'autres. Ajoutons que, cette fois encore, toutes les artilleries européennes se sont mises promptement à hauteur du progrès :

dans les sciences militaires, il suffit aujourd'hui qu'une découverte mette entre les mains d'une nation des moyens de destruction plus décisifs pour qu'ils soient aussitôt employés partout.

3° Enfin un troisième reproche qu'on pourrait faire au projectile trop allongé, c'est qu'il a moins de capacité intérieure qu'un autre plus court de même poids : nous avons déjà (*Bouches à feu*, page 3) insisté sur l'importance d'une grande capacité.

§ 3. — STABILITÉ DU PROJECTILE PENDANT SON TRAJET DANS L'AIR

Soient A B C D l'équateur du projectile, M N P sa section méridienne, G son centre de gravité.

Supposons qu'à un instant donné, une force quelconque R, agissant, soit d'une manière continue, comme la résistance de l'air, soit accidentellement,

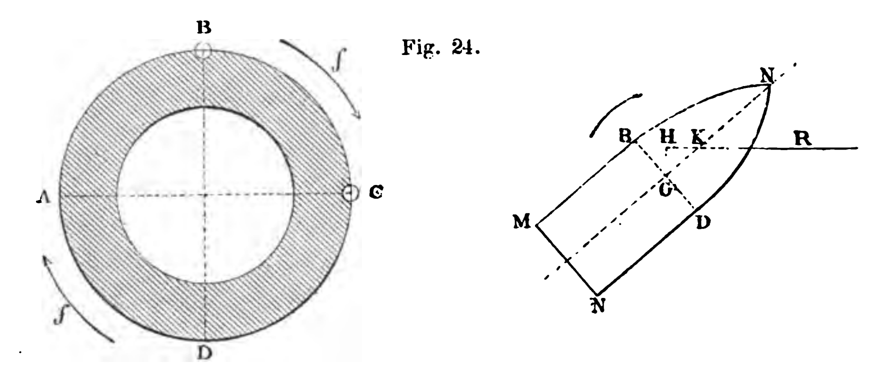


Fig. 24.

à la façon d'un coup de vent, vienne, avec un bras de levier G H $= l$, agir pour faire tourner le projectile autour du diamètre A C, de telle sorte qu'un observateur placé en arrière voie le point B venir à lui. Si le projectile tourne autour de son axe avec une vitesse ω et dans le sens indiqué par la flèche f, l'effet de la force sera une rotation autour du diamètre perpendiculaire B D, et dans un sens tel que le même observateur voie le point C venir vers lui. La vitesse de cette rotation sera, en appelant M le moment d'inertie autour de l'axe de révolution,

$$\frac{Rl}{M\omega},$$

c'est-à-dire qu'au bout d'un temps infiniment petit dt, le projectile aura éprouvé autour de B D une déviation angulaire

$$d\alpha = \frac{Rl}{M\omega}dt = \frac{Rdt}{\left(\frac{M\omega}{l}\right)}.$$

En appelant L la longueur totale du projectile, et observant que, dans les conditions de similitude, l est proportionnel à L, on voit que le rapport

$$\frac{M\omega}{L}$$

peut être pris comme mesure de stabilité de l'axe, de même que le rapport $\frac{P}{\pi r^2}$ est pris comme mesure de l'aptitude à vaincre la résistance de l'air. Et il est clair qu'il faut agir sur les facteurs

$$l \text{ ou } L, \ \omega \text{ et } M$$

pour augmenter le premier rapport autant que l'on pourra.

I. — Position du centre de gravité.

Le point K, dépendant de la manière dont le projectile se trouve placé sur sa trajectoire, est essentiellement variable, et il faudrait connaître sa position moyenne pour y placer le centre de gravité ou l'en rapprocher le plus possible, afin de diminuer l. Mais elle est assez mal connue, et ce n'est guère que par des recherches expérimentales qu'on peut déterminer, pour une forme donnée, la position la plus avantageuse du point G. Ces expériences consistent à tirer des projectiles dans lesquels on fait varier la distance G Q en coulant du plomb dans leur intérieur, ou en renforçant l'épaisseur de la fonte sous l'ogive.

Par analogie avec la flèche, on a cru longtemps qu'il était avantageux de reporter le centre de gravité le plus en avant possible. Les expériences dont il s'agit ont montré qu'il n'en est rien : un projectile tournant sur lui-même suit à cet égard d'autres lois que celui qui ne tourne pas.

II. — Longueur et rotation.

On diminuera dx en augmentant ω; mais il y a ici une limite tenant à la fatigue des rayures, au rasement possible des ailettes, chemises ou ceintures, et à la perte de force vive de translation, la seule utile.

La présence du rapport $\frac{l}{\omega}$ nous montre que si on allonge le projectile, il faut, pour lui conserver le même degré de stabilité, augmenter ω dans la même proportion. Dans les expériences faites par Withworth sur des projectiles de diverses longueurs (voir le § précédent), tous les projectiles, tirés avec un canon rayé au pas de 254^{mm}, demeurèrent stables et frappèrent la

pointe en avant; mais le projectile se renversa et prit une course déréglée dès que la longueur dépassa

6 calibres, avec un pas de 508^{mm},
5 calibres, — — 762^{mm},
3 calibres, — — 1,143^{mm},

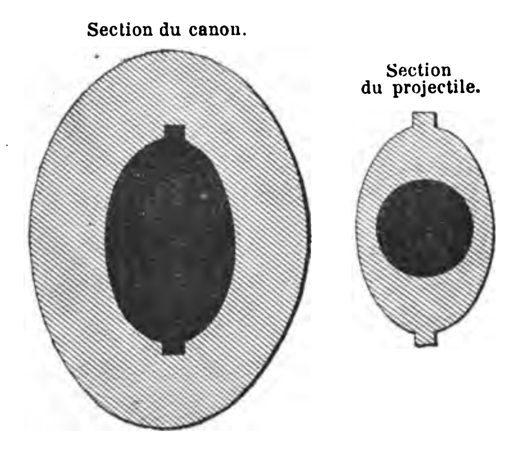
III. — Moment d'inertie.

Dans les systèmes d'artillerie actuellement existants, il n'y aurait qu'un moyen d'augmenter M, ce serait d'augmenter l'épaisseur de paroi; mais celle-ci est soumise à d'autres conditions plus impérieuses, qui veulent au contraire (voir le chapitre IV) la réduire autant que le permet la condition de solidité.

A ce point de vue, le système d'artillerie proposé par le général italien *de Saint-Robert* serait plus satisfaisant. La matière du projectile, au lieu d'être échelonnée sous une faible épaisseur parallèlement à l'axe de rotation, y est étalée sur une grande épaisseur perpendiculairement à cet axe, tandis que la dimension parallèle est relativement très faible. En d'autres termes, le projectile est de forme lenticulaire, et la rotation se fait autour d'un *petit* axe d'inertie; mais alors l'équateur est *dans* le plan de tir, au lieu de lui être perpendiculaire[1].

L'inventeur indique différents moyens, entre autres les deux suivants, pour obtenir la rotation, laquelle doit se faire de bas en haut dans la région antérieure :

Fig. 25. — *Canon rectiligne, système Saint-Robert, se chargeant par la culasse, destiné à lancer un projectile lenticulaire.*



1° Le projectile serait garni d'un anneau métallique autour de son équateur, et deux rainures, d'une profondeur égale à la hauteur de l'anneau, seraient creusées dans la paroi de l'âme du canon, le long des génératrices supérieure et inférieure, la première ayant la largeur de l'anneau, la deuxième une largeur un peu plus grande : le frottement

1. Voir : *Revue d'artillerie*, septembre 1873, page 520; — *Giornale d'artiglieria*, 1873 p. 33-38; — SAINT-ROBERT, *Mémoires scientifiques*, tome II. p. 47.

de l'anneau dans la rainure supérieure déterminerait la rotation. Bien entendu, le chargement se ferait par la culasse.

2° L'axe de l'âme serait légèrement courbé, sa concavité tournée vers le sol, avec une flèche de quelques centimètres. Le projectile, dont la tendance

Fig. 26. — *Canon courbe, système Saint-Robert, pesant 430k, destiné à lancer avec la charge de 1k de poudre un boulet lenticulaire du poids de 3k.*

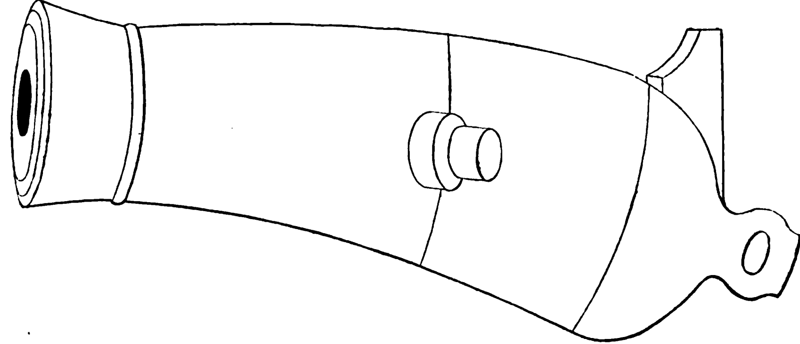
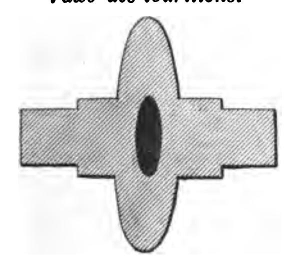


Fig. 26 *bis*. — *Section suivant l'axe des tourillons.*



constante est de partir suivant la tangente, en serait empêchée par la paroi supérieure, sur laquelle le frottement serait ainsi augmenté, et sur laquelle il roulerait d'avant en arrière. Le chargement pourrait se faire par la bouche, et il faudrait, en ce cas, que la partie inférieure du fond de l'âme se relevât, de manière à établir dès le départ le contact du projectile avec l'arête supérieure, afin d'éviter les battements qui s'opposeraient à une rotation régulière.

§ 4. — INFLUENCE DU CALIBRE

Quand on augmente le calibre de la bouche à feu, tous les autres éléments recevant aussi les modifications convenables, l'aptitude du projectile pour vaincre la résistance de l'air augmente comme le calibre, puisqu'elle est proportionnelle au rapport $\frac{P}{\pi r^2}$, et celle à conserver la direction de son axe augmente comme le carré du calibre, puisqu'elle est proportionnelle au rapport $\frac{M\omega}{L}$.

D'autre part, le travail que les gaz de la charge accomplissent sur le pro-

jectile pendant son trajet dans l'âme, et qui est mesuré par le produit $\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2$, est proportionnel au cube du calibre.

On peut donc dire que, lorsqu'on augmente le calibre dans les conditions de la similitude :

1° La force vive qui est emmagasinée dans le projectile au moment où il quitte le canon augmente proportionnellement *au cube du calibre.*

2° L'aptitude du projectile pour retenir cette force vive et la transporter au loin augmente *comme le calibre.*

3° La puissance destructive du canon, contre des obstacles éloignés, est proportionnelle à la *quatrième puissance du calibre.*

On sait que la vitesse restante v à la distance x est donnée par la formule

$$\frac{1}{v}=\frac{x}{C}+\frac{1}{V},$$

où V désigne la vitesse de départ, et C un coefficient numérique proportionnel à $\frac{P}{\pi r^2}$. * Cette formule attribue au calibre une importance plus considérable encore que ne le fait le raisonnement précédent, car, le premier et principal terme de v^{-1} étant inversement proportionnel au calibre, le développement de $\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2$ suivant les puissances du calibre serait du cinquième degré.

* On trouvera la démonstration de cette formule ci-après, chapitre IX, § 4, II.

CHAPITRE TROISIÈME

ORGANISATION DU PROJECTILE AU POINT DE VUE DE L'ACTION SUR LE BUT. — 1° TIR CONTRE DES OBSTACLES RÉSISTANTS.

Au point de vue de la *direction* du projectile, c'est-à-dire de la tension de la trajectoire et de la précision du tir, l'artillerie paraît avoir atteint un degré de perfection qu'on ne peut guère espérer dépasser dans un avenir prochain. Dès lors, il s'attache encore plus d'importance qu'on ne le faisait autrefois à l'organisation du projectile en lui-même, autre facteur de son efficacité.

Cette organisation dépend de l'obstacle qu'il s'agit de renverser, et on peut distinguer, en partant de ceux qui offrent le plus de résistance matérielle :

1° les cuirasses en fer qui recouvrent les navires ou certaines parties de la fortification terrestre ; ici nous nous occuperons exclusivement les cuirasses de navires, qui ont été beaucoup plus étudiées, et contre lesquelles il a été créé des types de projectiles parfaitement définis

2° les maçonneries;

3° les terres;

4° les corps de troupes.

Nous examinons les trois premiers [illegible] dans le présent chapitre et le dernier est réservé pour faire à lui seul l'objet du chapitre suivant.

§ I. — COMMENT EST FAITE UNE MURAILLE CUIRASSÉE

Il nous faut d'abord faire connaissance avec ce qu'il s'agit de combattre.

I. — Navires en bois et en fer.

Un navire cuirassé est formé par une coque en bois ou en fer, revêtue de plaques métalliques sur toute sa partie vulnérable, c'est-à-dire jusqu'à 1^m,50 au moins au-dessous de la ligne de flottaison. C'est cette partie qu'on appelle la *muraille*.

Dans les navires en bois, la muraille est constituée par trois plans de bois B, M, V (fig. 31) formant ensemble une épaisseur d'environ 0^m,80, et


Fig. 27. — *Type la Gloire, 1858.*

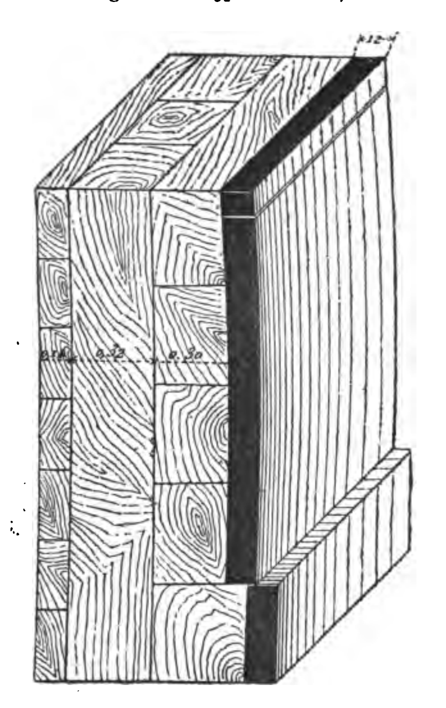



Fig. 28. — *Type Dévastation, 1869.*



appelés respectivement, à partir du dehors, le *bordé*, la *membrure*, le *vaigrage*. Les bois employés sont le chêne, le teck ou l'angélique. Pour augmenter la rigidité, on a pris l'habitude, depuis 1867, de placer entre les pièces qui forment la membrure ou le vaigrage des bandes de tôle de 0^m,02 d'épaisseur, ployées en cornière à la partie intérieure (fig. 28). La rigidité de la muraille est encore accrue par les ponts qui viennent se réunir à elle, et souvent par des contreforts intérieurs (fig. 28), dont la présence peut faire supprimer le vaigrage.

Dans les navires en fer, le bordé et la membrure sont formés par des tôles de fer ou d'acier. Mais on ne peut pas y appliquer directement la cuirasse : le système manquerait d'élasticité et le premier boulet qui arriverait ferait sauter les vis d'attache. On recouvre toujours le bordé d'un ou deux plans de bois, ayant ensemble une épaisseur d'au moins $0^{m},40$, et prenant le nom de *matelas*.

La cuirasse est formée de plaques juxtaposées qui ont 1^{m} de haut et 4^{m} de large. Elles sont fixées sur la muraille par de grosses vis à bois dont la tête est tronconique et se termine par un têton à section carrée autour duquel on place l'outil servant à enfoncer la vis. Avec des boulons à écrou, il arrive que les têtes sont brisées par le tir, et que les corps, projetés avec les écrous dans l'intérieur du bâtiment, y produisent l'effet de la mitraille; les Anglais, qui emploient ce mode d'attache, ont dû recourir à des dispositifs particuliers pour en atténuer l'inconvénient.

Il y a quelques années, des ingénieurs proposaient de composer la cuirasse en alternant les plaques avec des plans de bois (fig. 29, partie supérieure) : c'est ce qu'on appelle le système *Sandwich*. Les expériences de la Spezzia, en 1876, ont montré décidément que les plaques ainsi divisées résistent moins qu'une seule plaque ayant une épaisseur égale à la somme de leurs épaisseurs respectives. (Voir chapitre VIII, § 2.)

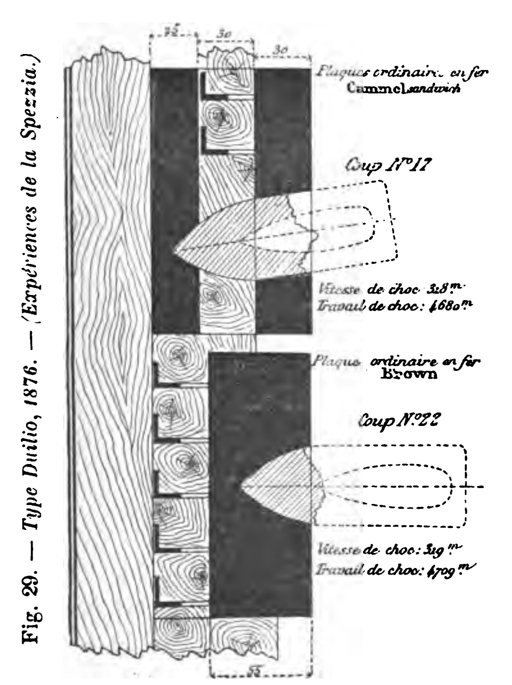


Fig. 29. — Type Duilio, 1876. — (Expériences de la Spezzia.)

Les plaques sont en fer forgé. La fonte aurait le très grand avantage de fournir sans difficulté des plaques aussi grandes et aussi épaisses que l'on voudrait; de plus, par sa *dureté*, elle résisterait mieux que le fer à la perforation; mais elle n'a pas assez de *ténacité* pour résister au choc. L'acier, qui aurait les mêmes avantages, ne se conduit guère mieux, du moins jusqu'ici, mais on espère pouvoir le substituer un jour au fer forgé. Pour le moment, il présente le curieux phénomène que voici :

Peu de temps après avoir été frappée par le projectile, et alors même qu'elle n'a subi en apparence que de faibles avaries, la plaque d'acier se

met à rendre des sons, puis se fend dans plusieurs directions, et les fentes se propagent d'elles-mêmes jusqu'aux bords. Si la plaque reste entière, un deuxième coup ouvre un grand nombre de fentes qu'on n'avait pas vues d'abord, et en produit de nouvelles; puis, la plaque vole en éclats au bout d'un petit nombre de coups.

La fabrication des plaques de cuirasse est devenue une branche importante de la métallurgie. Elles sont fournies, en France, par les forges de la Chaussade (établissement de l'État), par les usines du Creuzot, celles de Commentry et Châtillon, MM. Petin et Gaudet, enfin la maison Marrel, de Rive-de-Giers. Elles reviennent à environ 100 fr. les 100 kilog.

II. — Épaisseur des plaques.

Le premier cuirassé, *La Gloire*, construit par Dupuy de Lôme et lancé en novembre 1859, avait des plaques de 12ᶜ d'épaisseur, avec lesquelles il pouvait braver les plus gros canons d'alors, qui étaient, en France, les canons de 16ᶜ modèle 1858, pouvant à la rigueur lancer un projectile massif de 45 kilog., mais hors d'état de résister longtemps à un pareil tir, et construits seulement pour des obus de 31 kilog.

L'apparition de *La Gloire* fut, pour toutes les marines militaires, le signal d'une révolution semblable à celle que nous avons vue dans les artilleries en 1859 et en 1871. Elle fut aussi le point de départ de cette lutte systématique entre le boulet et la cuirasse, qui a été si bien peinte par J. Verne dans un de ses romans; lutte dans laquelle les deux adversaires suivent une marche ascendante dont on ne peut prévoir le terme, surmontent à chaque étape des difficultés considérées auparavant comme invincibles, et prennent tour à tour le dessus.

Du côté de l'artillerie, les étapes principales sont marquées, en France : — 1° par la création du système de 1864, comprenant des canons de 16ᶜ, 19ᶜ et 24ᶜ, auxquels on adjoignit en 1866 celui de 27ᶜ; ces canons lancent respectivement, avec une vitesse moyenne de 340ᵐ, des poids de 45, 75, 144 et 216 kilog. — 2° par la création du système de 1870, où les mêmes poids sont envoyés avec une vitesse moyenne de 450ᵐ, et où se trouve en plus le canon de 32ᶜ, dont le projectile pèse 350 kilog. Depuis 1870, un nouveau pas en avant était devenu nécessaire. C'est l'Angleterre qui en a donné le signal en 1875, par la construction d'un canon de 80 tonnes, assez mal réussi dans le premier exemplaire. Est ensuite venue l'Italie, qui a fait fabriquer en 1876, par l'usine Armstrong, des canons de 45ᶜ,5, dits de *cent*

tonnes, lançant avec cette même vitesse de 450m, un projectile de 908 kil., dont la figure ci-contre montre les proportions[1]. Enfin la maison Krupp a fait tirer en août 1879 un canon de 40c lançant 775 kilog. avec une vitesse de 500m.



Du côté de la cuirasse, les étapes principales sont marquées : — par les plaques de 15c, qui deviennent nécessaires dès 1865 ; — celles de 20c et 22c, qui apparaissent en 1868 ; — celles de 30c et 35c, qui s'emploient depuis 1871 ; — enfin celles de 56c (cinquante-six centimètres ; v. fig. 24, partie III) qui recouvrent les navires italiens *Duilio*, *Dandolo* [illegible] et *Lepanto*, le premier lancé en novembre 1876, les autres non terminés encore ; chacun de ces navires doit porter quatre canons de cent tonnes.

De pareilles constructions représentent des poids énormes, au point qu'une grande portion de la coque n'a pas d'autre objet que de fournir le déplacement nécessaire pour supporter les parties cuirassées. Ainsi le cuirassement seul du *Minotaur*, navire anglais lancé en 1863, qui n'a que des plaques de 14c, mais qui, en revanche, est un des plus grands qu'on ait faits, pèse plus de cinq millions de kilog. On se demande comment de pareilles masses peuvent être manœuvrées. Or la marche des cuirassés est *supérieure* à celle des navires ordinaires à vapeur : tandis que les premiers filent en moyenne 14 à 15 nœuds[2], vont même jusqu'à 16 et 17, les plus rapides parmi les seconds restent au-dessous de 13.

Cette supériorité de marche du lourd navire cuirassé est un fait du même ordre que la supériorité de portée du projectile que lance aujourd'hui un canon rayé sur celui, trois ou quatre fois plus léger, que lançait autrefois le canon lisse de même diamètre. Dans un cas comme dans l'autre, la supériorité tient au rapport du poids à la section transversale, dont il a été question chap. II, § 2[3]. Le mouvement [illegible] navire cuirassé,

1. Pour une description détaillée de ce canon, voir *Mémorial de l'artillerie navale*, 1878, liv. 1, p. 154.

2. Le *nœud* est une vitesse *composée*, c'est-à-dire dépendant de deux grandeurs, qui sont le chemin parcouru et le temps ; il représente la vitesse de 1852 *mètres à l'heure*.

3. Ce rapport est encore plus grand pour le navire que pour l'obus. En effet tandis

possède une plus grande aptitude que son prédécesseur pour vaincre la résistance du milieu dans lequel il est appelé à se mouvoir, et il conserve mieux sa vitesse. Il est vrai qu'il faut une plus grande force pour le mettre en mouvement; mais les progrès de la science et de l'industrie ont mis cette force à la disposition du marin comme à celle de l'artilleur.

Ajoutons que les termes extrêmes, véritables monstruosités desquelles on reviendra probablement, sont à l'état d'exception, tant dans l'artillerie que dans la marine. Ainsi il existait en 1878, pour l'ensemble des marines militaires, 319 navires cuirassés, portant ensemble 2,350 canons, et représentant une force totale nominale de 131,000 chevaux[1]; or, 55 seulement d'entre eux sont cuirassés pour résister au canon de 24^c tirant à 2,000^m.

III. — L'Éperon.

Bien qu'il n'ait guère de rapport obligé avec notre sujet, nous ne devons pas omettre de mentionner un formidable appendice offensif qui arme les cuirassés : l'éperon. C'est une pointe en bronze ou en acier, qui garnit la partie inférieure de leur proue et pèse à elle seule plus de vingt mille kilog. (voir fig. 30).

S'il réussit à prendre son adversaire par le travers, le navire, transformant son énorme masse en force vive et se faisant projectile lui-même, lui ouvre avec cette pointe, au-dessous de la cuirasse, une large blessure qui sera souvent mortelle, malgré les compartiments étanches ménagés en dedans de la paroi en prévision de ce danger. C'est ainsi que le *Re d'Italia* fut coulé à la bataille de Lissa, et cet exemple célèbre est le seul qu'on ait encore de l'attaque à l'éperon.

---

que le rapport de la longueur à la section transversale est de 2,50 à 3,50 pour l'obus, il varie de 5,00 à 5,60 pour les navires français, et va jusqu'à 6,70 pour quelques navires anglais.

1. La *force nominale* se calcule, pour une machine donnée, au moyen d'une formule due à Watt, et appelée : *formule du gouvernement*, en France, *formule de l'amirauté*, en Angleterre. Elle sert pour les marchés d'achat des machines et pour le classement des navires de guerre. Mais avec les détentes étendues qu'on emploie aujourd'hui, elle ne donne qu'une idée très imparfaite de la *force effective*, car elle est toujours de *quatre à sept fois plus petite*. (Voir, pour plus de détails : Ledieu, *Traité élémentaire des appareils de navigation*, Paris, 1862, tome 1er, pages 496-517.)

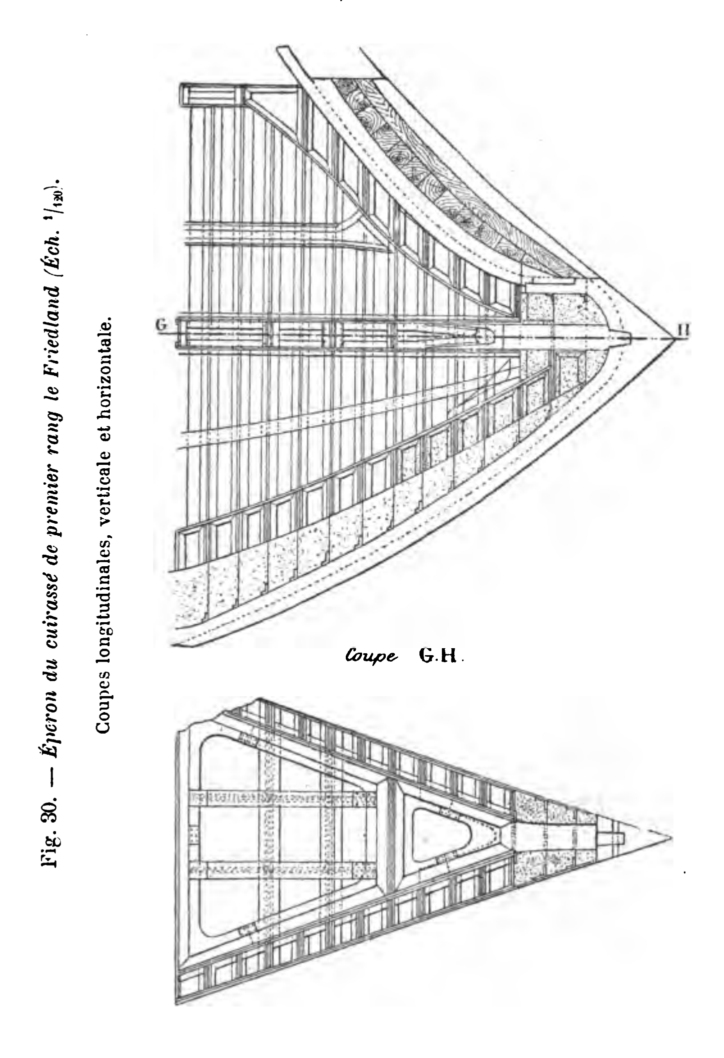


Fig. 30. — *Éperon du cuirassé de premier rang le Friedland (Éch.* 1/120).

Coupes longitudinales, verticale et horizontale.

IV. — Murailles construites dans les polygones.

Dans les polygones, les tirs d'expériences se font contre des constructions représentant aussi exactement que possible le type de muraille qu'on veut étudier, et ayant ordinairement 2 ou 3 plaques en longueur sur 5 ou 6 en hauteur.

Assises sur un solide grillage formé de deux rangs croisés de pièces de bois, et soutenues à l'arrière par de robustes arcs-boutants, ces constructions prennent aussi le nom de *murailles cuirassées*. On trouvera dans le *Mémo-*

rial d'artillerie navale, 1re livraison de 1874, la description des murailles cuirassées, au nombre de 22, construites à Gavre depuis 1860 jusqu'à cette époque; une d'elles est représentée ci-contre.

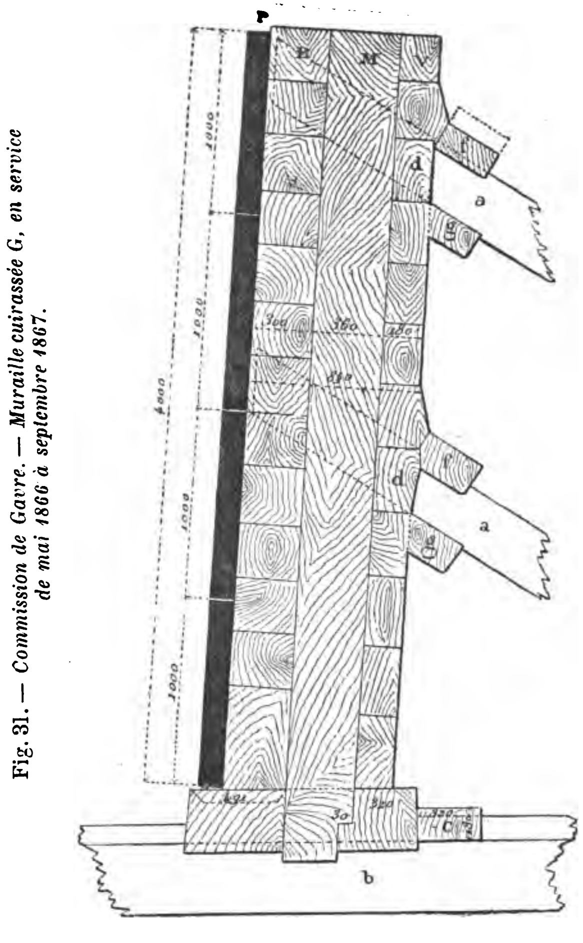


Fig. 31. — *Commission de Gavre. — Muraille cuirassée G, en service de mai 1866 à septembre 1867.*

Légende :

P. Plaques.	*b.* Sole.
B. Bordé.	*c.* Longrine.
M. Membrure.	*d.* Bauquières.
V. Vaigrage.	*f.* Gouttières.
a. Accores.	*g.* Gouttières renversées.

Le prix de revient d'une muraille cuirassée du type le plus simple, par exemple le type *La Gloire* (fig. 27 et 31), n'est pas inférieur à 60,000 fr., et sa destruction représente une dépense minima de 1,500 fr. par coup, sans compter le canon, les boulets, etc. Mais c'est bien autre chose pour les types modernes. La muraille et les ouvrages construits à la Spezzia pour essayer le canon de cent tonnes ont monté à 625,000 fr., une seule plaque (de 1m sur 4m) coûtant déjà 20,000 fr. La cible construite en Angleterre deux ans auparavant pour essayer le canon de 80 tonnes coûta 125,000 fr., et on estime que chacun des coups tirés jusqu'ici par ce canon revient à 25,000 fr.

Dans ces conditions, il y a un grand intérêt à ce que les expériences suivent une marche méthodique, permettant de déduire des conséquences pratiques d'un nombre de coups aussi restreint que possible. Le plus souvent qu'on peut, on emploit l'artifice suivant, dont il se trouve aussi de fréquents exemples dans l'artillerie de terre, (voir chapitre VII, § 5). Au lieu de tirer aux distances réelles de combat, on place la pièce assez près de la

muraille pour supprimer toute incertitude dans le tir, et on réduit la charge de manière à obtenir au moment du choc la même vitesse qu'avec la charge de guerre à la distance qu'on veut étudier. De cette façon, on est certain, non seulement d'atteindre la muraille, mais encore de ne pas tomber sur un bord, ou un joint, ou une partie déjà dégradée. De plus, on connaît très exactement l'angle d'arrivée et tous les éléments dont il est nécessaire d'apprécier séparément l'influence pour résoudre les questions complexes qu'on a en vue.

§ 2. — PROJECTILES DE RUPTURE. — MATIÈRE PREMIÈRE.

Le projectile destiné à être lancé contre les murailles cuirassées s'appelle *boulet de rupture*, ou *obus de rupture*, suivant qu'il est massif ou creux. Il doit être formé d'un métal présentant au plus haut degré les qualités de *dureté* et de *ténacité*, la première pour qu'il résiste aux déformations, la seconde pour qu'il échappe à la rupture.

Les déformations se produisent toujours, et les ruptures très souvent, surtout dans le tir oblique. Les unes et les autres constituent une perte

Fig. 32. — *Exemple de déformation et de rupture.*

LÉGENDE :

Obus de 24^{c}, du poids de 142^{k}, en acier martelé et trempé, tiré contre une plaque de 22^{c} recouvrant une muraille en chêne de 81^{c} d'épaisseur. L'obus s'est brisé en neuf morceaux, tous retrouvés de l'autre côté du massif, le plus éloigné à 295^{m}. — Le trou dans le bois s'est rebouché. — (Gavre, 1875).

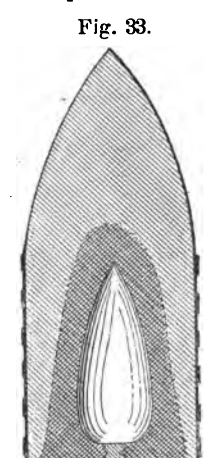
(*Voir aussi la fig. 45.*)

sèche de force vive, dissipée par le projectile en agitations moléculaires stériles et en efforts intestins contre lui-même. La rupture, même n'arrivant qu'une fois la pénétration commencée, présente un autre grave inconvénient dans le cas de l'obus : lorsque celui-ci est brisé autrement que par l'effet de la charge intérieure, les gaz n'acquièrent pas leur tension entière, et ne donnent pas aux éclats toute la puissance destructive dont ils sont susceptibles.

La fonte ordinaire n'a pas assez de ténacité, et le fer forgé pas assez de dureté. Le projectile en fonte se brise comme du verre en arrivant sur la plaque, et celui en fer s'y aplatit sans produire beaucoup plus d'effet. L'acier de cémentation, même fortement trempé, n'a pas non plus une dureté suffisante.

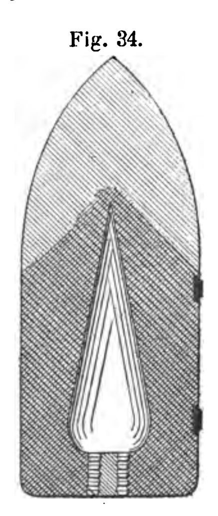
L'acier fondu, durci par le martelage et la trempe, fut d'abord le seul métal présentant les qualités voulues. Mais il revient fort cher, environ 12 fr. le kilog., et on continuait à faire des essais avec les fontes. En 1865, on parvint à trouver assez de résistance dans une fonte particulière, obtenue par des mélanges de fontes spéciales convenablement choisies, et par le coulage en coquille, c'est-à-dire dans un moule métallique, à parois conductrices procurant un refroidissement rapide. C'est ce produit qu'on appela la *fonte dure*, ou la *fonte Gruson*, parce que l'usine de ce nom, près de Magdebourg, en Prusse, en garda quelque temps le monopole. Les autres pays finirent par se mettre à hauteur et bientôt quelques usines françaises, surtout celle de Terre-Noire et celles de Châtillon et Commentry, livrèrent des produits supérieurs à tous ceux venus du dehors.

Fig. 33.



En Angleterre, l'ogive de l'obus est seule coulée en coquille, et la partie cylindrique l'est dans un moule en sable, ce qui la rend relativement douce. De plus, la pointe de l'ogive reçoit une trempe énergique. Les obus ainsi fabriqués s'appellent obus Palliser (fig. 34).

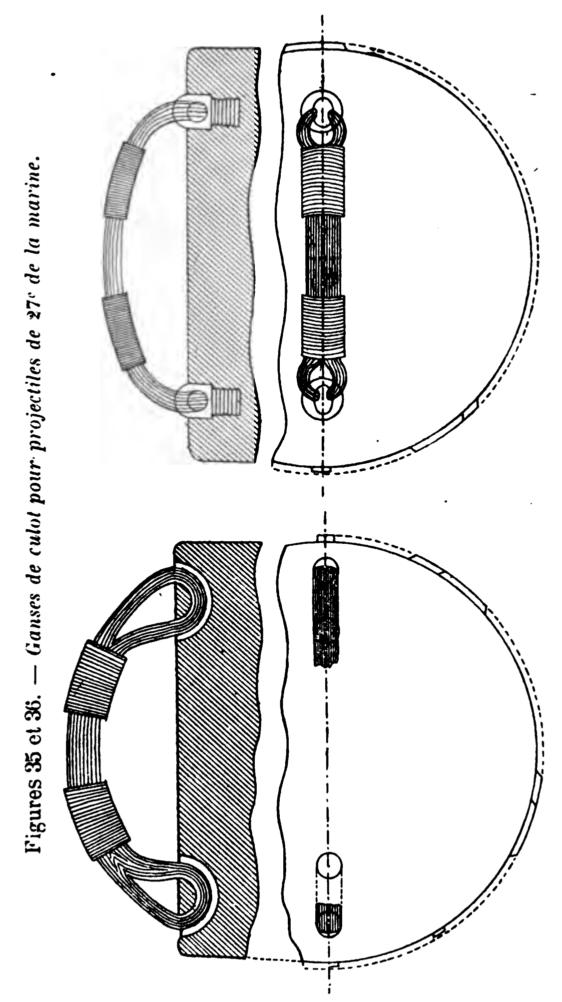
Fig. 34.



Le prix de revient des projectiles en fonte dure est inférieur de 75 0/0 à celui des projectiles en acier. Mais, depuis quelques années, l'ingénieur maritime a trouvé le moyen d'augmenter encore la résistance de ses plaques, en même temps que l'artilleur parvenait à augmenter la vitesse de ses projectiles. En outre celui-ci a élevé ses prétentions. Alors qu'il se contentait autrefois de l'épreuve du tir normal, il veut aujourd'hui que ses projectiles résistent à celle du tir oblique, qui est beaucoup plus redoutable pour eux, mais correspond mieux aux conditions pratiques de leur emploi. Et au lieu de former presque tout son approvisionnement en boulets massifs, comme autrefois, il veut le faire presque tout avec des obus, qui ajoutent l'effet d'éclate-

ment à celui de pénétration, mais que leur cavité intérieure prédispose bien plus à la rupture. Dans ces conditions, la meilleure fonte dure ne peut plus supporter la concurrence, et l'acier redevient le seul métal à hauteur de la situation.

Jusque vers 1876, les obus de rupture en acier étaient faits en acier au creuset de qualité supérieure, coulés pleins, martelés, creusés à l'outil et trempés. A cette époque, l'usine de Terre-Noire parvint à obtenir, exempts de soufflures, des obus coulés creux, non martelés, ayant à peu près la même solidité et beaucoup moins chers. Ils sont adoptés en France, et les études des artilleries étrangères se portent maintenant sur ce nouveau produit, appelé *acier coulé sans soufflures*.



Figures 35 et 36. — *Ganses de culot pour projectiles de 27ᶜ de la marine.*

A côté des projectiles en acier et en fonte dure, les premiers pouvant triompher des cuirasses les plus formidables, les seconds suffisant contre celles de force moyenne, l'artillerie de marine doit avoir encore des obus en fonte ordinaire, pour tirer contre les navires en bois et faire les bombardements.

Tous ces projectiles de gros calibre sont munis d'un appendice destiné à en faciliter le maniement. C'est, en France, une ganse en fil de laiton, ou au besoin en ficelle, faite autour de pitons qui sont vissés dans le culot (fig. 35), ou passée dans des trous qui y ont été ménagés de fonte (fig. 36 et 37). Les ganses en fil de laiton ont l'inconvénient d'exiger beaucoup de temps pour leur mise en place et de se détériorer assez vite. Les trous ménagés de fonte ont celui de compro-

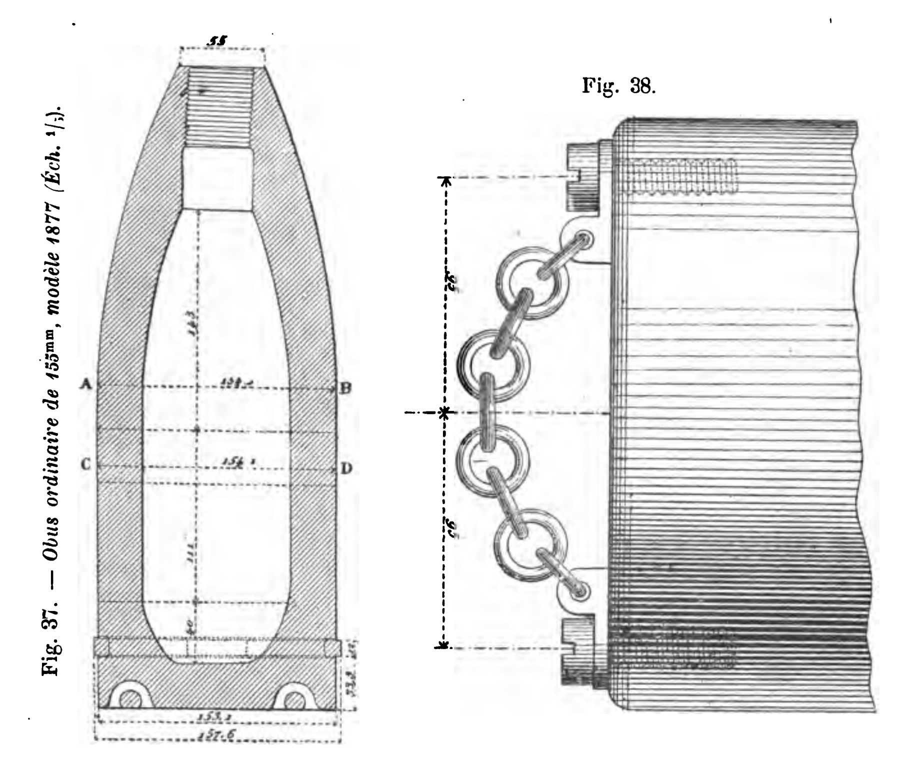
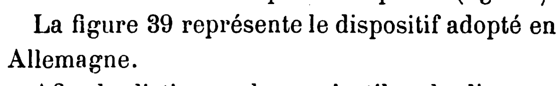


Fig. 37. — *Obus ordinaire de 155mm, modèle 1877 (Éch. 1/5).*

Fig. 38.

mettre la résistance du culot, à raison des soufflures qui se forment dans leur voisinage. Aussi on tend à employer, depuis quelques années, une chaînette en fer fixée par deux pitons (fig. 38):



La figure 39 représente le dispositif adopté en Allemagne.

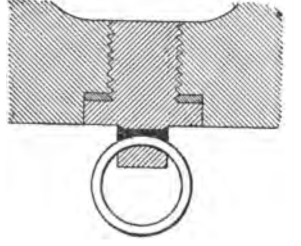


Fig. 39.

Afin de distinguer les projectiles de diverses espèces, on peint le culot et l'ogive (le culot et la calotte s'il s'agit d'un projectile cylindrique) : — en *rouge*, pour les boulets en fonte dure, — en *blanc*, pour les boulets massifs d'exercice en fonte ordinaire, et pour les obus chargés pour exercices. — Les boulets d'acier et les obus de combat ne reçoivent *aucune* peinture.

§ 3. — BOULETS DE RUPTURE. — FORME DE L'AVANT.

Un des facteurs de la force vive, le poids, est porté au maximum dans le projectile massif, dont la fabrication présente d'ailleurs beaucoup moins de

difficultés que celle de l'obus. Aussi les premiers essais portèrent uniquement sur le boulet de rupture.

Pour qu'un projectile de ce genre agisse efficacement contre la muraille cuirassée, il faut, non seulement qu'il perce la plaque, mais encore qu'il traverse le bois. Lorsqu'il ne pénètre que de la moitié de sa longueur, ou même de cette longueur entière, il bouche lui-même le trou qu'il a fait, et les plaques voisines ne sont pas ébranlées.

I. — Boulet cylindrique.

Une certaine analogie qu'on croyait voir entre l'action du boulet sur la plaque et celle des emporte-pièce employés dans l'industrie conduisit à le faire avec un avant presque plat : c'est ce qu'on appela le ***boulet cylindrique*** (fig. 40).

Fig. 40.

Un projectile ayant cette forme agit en effet comme l'emporte-pièce sur une épaisseur de quelques centimètres; mais ensuite des arrachements obliques se forment aux soudures qui réunissent les lames, et le trou est beaucoup plus large sur la face postérieure de la plaque que sur la face antérieure (fig. 41). Le boulet ne pénètre dans le bois qu'en poussant devant lui la partie enlevée, qu'on appelle le *ménisque*. Si la vitesse dont les deux corps sont alors animés est encore assez grande, ils traversent ensemble la muraille, et, par suite du grand diamètre du ménisque, y font un grand trou qu'il est presque impossible de reboucher. De plus, il se produit à l'intérieur du bâtiment ennemi une grêle de débris de fer et de bois qui forme une mitraille des plus dangereuses.

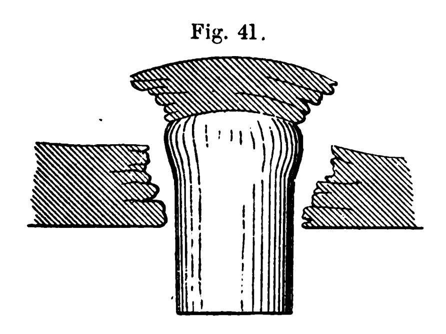


Fig. 41.

Mais, pour traverser franchement la muraille en poussant devant lui ce large ménisque dont il est coiffé, le boulet cylindrique a besoin d'arriver avec une grande force vive. Si elle est insuffisante, le ménisque s'arrête dans le bois, et le boulet dans la plaque (fig. 42). Si elle est moindre encore, le ménisque n'est pas même détaché

de la plaque, où se creuse seulement l'empreinte de la partie antérieure du boulet (fig. 43).

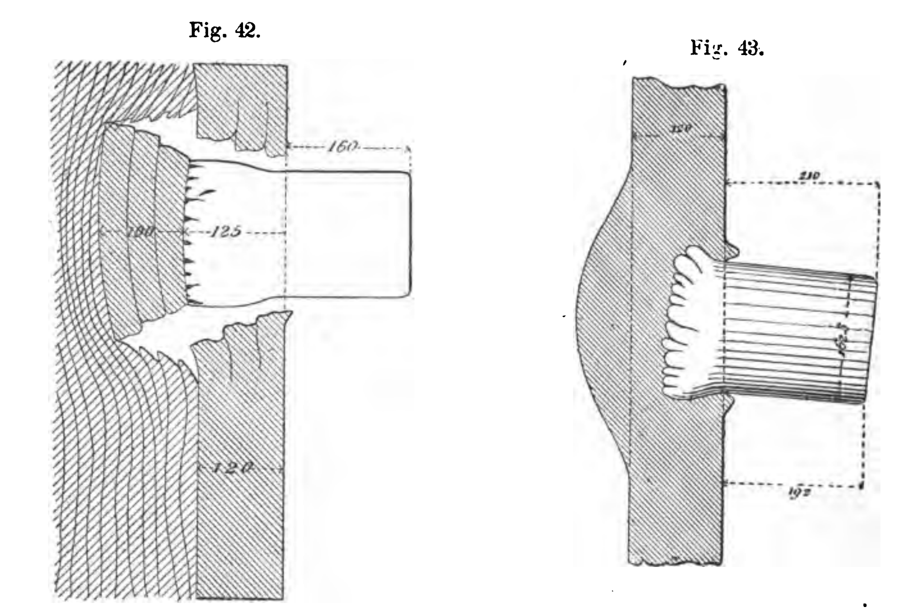


Fig. 42.

Fig. 43.

D'autre part, la forme du projectile est très désavantageuse au point de vue du trajet dans l'air : il y use rapidement sa force vive et y conserve mal sa position. Il ne peut donc avoir ni portée ni justesse ; lorsque la distance du but devient supérieure à 1,000 ou 1,500 mètres, il a beaucoup de chances pour le manquer, et s'il l'atteint, il n'a plus assez d'énergie pour accomplir l'énorme travail que nous venons de décrire.

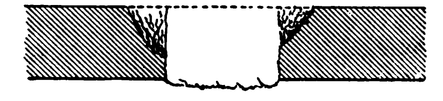
Dans le tir oblique, le projectile cylindrique se brise beaucoup plus facilement que le projectile ogival. C'est à raison de cette fragilité tenant à leur forme que les projectiles cylindriques sont toujours faits massifs et toujours en acier. Cette forme est du reste de moins en moins employée.

II. — Boulet ogival.

Beaucoup mieux organisé au point de vue du trajet dans l'air, le boulet ogival a aussi plus de facilité pour pénétrer dans la muraille, parce que toute la force vive qu'il porte dans ses flancs se concentre sur une très petite surface d'entrée. Il n'arrache pas de ménisque et pénètre dans la plaque à la façon d'un coin, c'est à-dire que sa pointe s'y enfonce en creusant un lo-

gement et refoulant le métal autour d'elle. A mesure qu'elle s'enfonce davantage, le métal refoulé s'étire en diminuant d'épaisseur ; il finit par s'ouvrir devant elle et se divise en morceaux qui s'enfoncent dans le bois tout autour pour livrer passage au corps cylindrique du boulet. Le diamètre du trou est à peine plus grand que celui du boulet et le même sur toute l'épaisseur (fig. 44 et 45).

Fig. 44. — *Projectile ogival. — Tir normal.*



La cuirasse une fois percée, les choses se passent encore tout autrement qu'avec le boulet cylindrique. Il suffit que le boulet ogival ait conservé une faible vitesse pour qu'il traverse toute la muraille, mais le trou qu'il y fait est presque toujours rebouché entièrement par la réaction du bois, et les dégâts, localisés dans la partie atteinte, sont bien moindres que ceux produits par le boulet cylindrique. Seulement il arrive souvent que la chaleur développée par le passage dans la plaque suffit pour mettre le feu au bois au point qu'on a des difficultés à l'éteindre ; ce fait ne se présente jamais avec les boulets cylindriques.

En définitive, le boulet ogival demande, pour percer la muraille entière, une vitesse beaucoup moindre que le boulet cylindrique. Seul, il peut atteindre le navire ennemi à de grandes distances, et il y conserve une énergie suffisante pour pénétrer jusqu'à ses œuvres vives, qui sont la machine, la chaudière et les soûtes.

Un défaut du projectile ogival, c'est qu'il est facilement dévié quand l'obliquité du tir devient très grande. Les deux figures suivantes montrent,

Fig. 46.

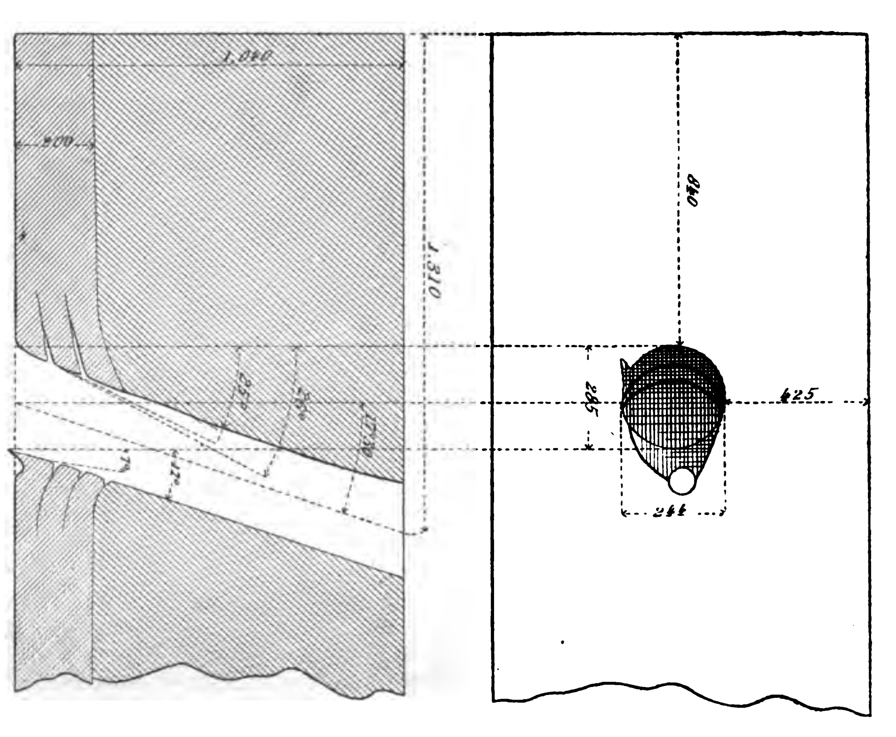
d'une part un *obus* Withworth à tête plate, de six calibres de long, ayant traversé une plaque avec une incidence de 65°, d'autre part un *boulet* ogival de même calibre qui, tiré sous l'angle de 45°, a été dévié et n'a pu traverser. Sur ce dernier, les lignes pointillées indiquent la déformation qu'il a subie, et qui donne une idée de l'énergie avec laquelle la plaque a été frappée.

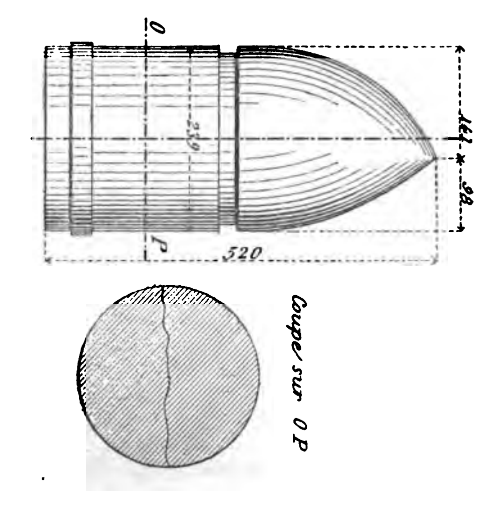
Fig. 45. — *Tir oblique* :

LÉGENDE :

Tir d'un boulet ogival de 24c, pesant 145k, contre une muraille de 84c recouverte par une plaque de 20c. Le boulet traverse le massif et tombe à 540m au delà, entier, mais fendu. (Gavre, 1872).

(Échelle de 1/20 pour la muraille et de 1/10 pour le projectile représenté après le tir.)





III. — Forme de l'ogive.

L'angle au sommet de l'ogive ne s'éloigne jamais beaucoup de 60°. En augmentant l'acuité, on favorise la pénétration, mais aussi la rupture. La section méridienne est ordinairement un arc de cercle prolongeant la génératrice rectiligne du corps du projectile, et ayant de 1 1/2 à 2 calibres de rayon. Les figures suivantes représentent quatre ogives dont les rayons

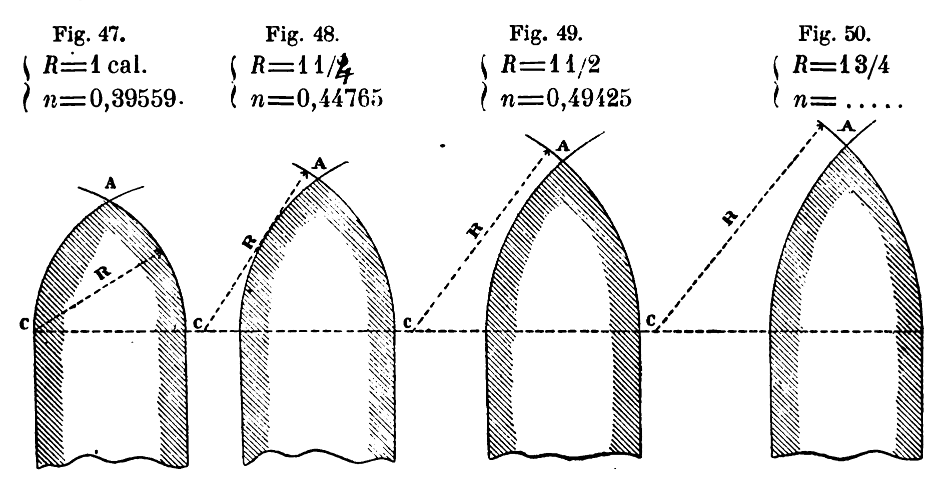


Fig. 47. $R = 1$ cal. $n = 0{,}39559$.
Fig. 48. $R = 1\ 1/4$ $n = 0{,}44765$
Fig. 49. $R = 1\ 1/2$ $n = 0{,}49425$
Fig. 50. $R = 1\ 3/4$ $n = \ldots\ldots$

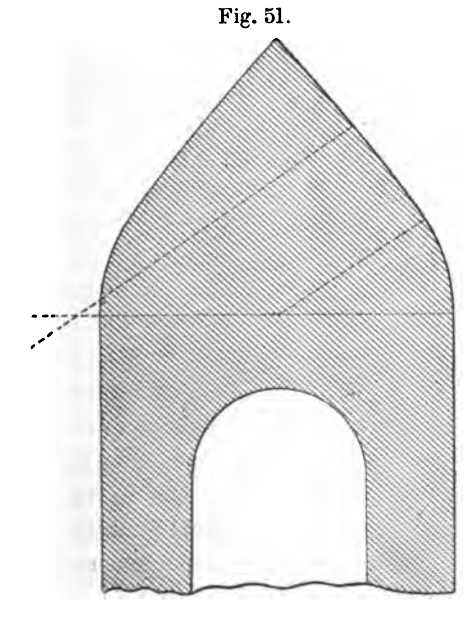


Fig. 51.

croissent en progression arithmétique de un à deux calibres, et on lit au-dessus le nombre n par lequel il faut multiplier le cube du calibre pour avoir le volume de chacune d'elles : ce nombre abrégera les calculs relatifs au poids, au centre de gravité... etc. On remarquera que l'ogive dont le rayon est un calibre et quart a sa hauteur juste égale au calibre.

On a proposé aussi la forme *ogivo-conique* (fig. 51), où une partie de l'ogive est remplacée par le cône circonscrit, et qui serait plus favorable à la pénétration. Le fait est exact, surtout pour le tir oblique; mais cette forme est moins bonne au point de vue de la conservation de la vitesse pendant le trajet dans

l'air, et, aux distances de combat, le bénéfice obtenu d'un côté serait plus que détruit par la perte faite de l'autre.

IV. — Boulets de rupture dans l'artillerie de terre.

Dans l'artillerie de terre, les gros calibres, à partir de celui de 15^c, comportent toujours un projectile massif appelé aussi *boulet de rupture*. Il est destiné à être tiré contre les ouvrages cuirassés, ou autres obstacles de résistance exceptionnelle, que peut présenter la fortification. Il est toujours ogival.

§ 4. — OBUS DE RUPTURE.

L'emploi d'obus éclatant après avoir traversé la plaque présente, à faculté égale de pénétration, de très grands avantages sur celui des projectiles massifs. Si l'explosion se fait lorsque l'obus est encore dans la muraille en bois, les dégâts sont considérablement augmentés; si elle ne se fait qu'au delà, l'obus a accompli le service du boulet plein, et il possède une action meurtrière beaucoup plus étendue.

L'obus de rupture est toujours ogival, et sa forme extérieure est la même que celle du boulet; seulement la longueur est souvent un peu plus grande.

Quant au vide intérieur, il diffère beaucoup de celui des obus ordinaires. Il est tracé (voir les figures 32, 33, 34) de manière que l'épaisseur de la paroi aille constamment en croissant depuis le bas jusqu'au sommet, et celui-ci ne dépasse guère le plan de naissance de l'ogive, afin de n'en pas compromettre la solidité. L'épaisseur minimum ne doit pas être inférieure au quart du calibre, et souvent même elle va jusqu'au tiers.

Afin que l'ogive reste intacte, le trou de chargement est fait dans le culot, et il est ensuite solidement fermé par un bouchon à vis. Chez les obus en acier martelé, qui ont été coulés pleins et forés à l'outil, ce trou n'est pas autre chose que l'entrée du vide (voir la fig. 32), et le bouchon est un véritable culot rapporté. Chez ceux où le culot est venu de fonte avec le reste du projectile, le trou y est percé avec des dimensions moindres. (Voir les fig. 33 et 34.) Chez les obus en fonte, comme ce métal ne comporte pas un filetage bien exact, il est nécessaire de faire le trou en deux parties d'inégal diamètre, afin de pouvoir mettre sous la tête du bouchon une rondelle en plomb ou en cuivre, qui sera fortement comprimée et fermera hermétiquement le joint. (Voir la fig. 39.)

On verra plus loin (chap. VI) que l'inflammation de la charge n'exige pas la présence d'une fusée.

§ 5. — TIR CONTRE LES MAÇONNERIES.

Contre les maçonneries, l'obus devient encore plus franchement supérieur au boulet massif, et cette supériorité va s'accuser de plus en plus pour les buts qu'il nous reste à voir.

Dans le cas actuel, l'avantage de l'obus résulte : 1° de ce que l'explosion désorganise la maçonnerie jusqu'à une certaine distance du trou qu'il vient de faire, 2° de ce qu'elle nettoie celui-ci et en met le fond à découvert. Avec les boulets massifs, les débris de maçonnerie s'y accumulent à l'état pulvérulent, et amortissent les coups ultérieurs; lorsqu'une certaine profondeur a été atteinte, ils annulent même complètement leur effet, en sorte qu'il devient impossible d'aller plus loin.

Il n'existe pas de projectile organisé spécialement en vue du tir en brèche, et ce tir s'exécute avec l'obus ordinaire. (Voir le chapitre suivant.)

§ 6. — TIR CONTRE LES TERRES.

Dans le tir contre les terres, l'explosion, en les dispersant au loin, produit la plus grosse part de l'effet total. Aussi est-il presque permis de considérer le projectile comme n'étant qu'un véhicule destiné à porter à une certaine profondeur une charge de poudre qui agira à la façon d'un fourneau de mine : l'effet sera celui d'un fourneau surchargé ou souschargé, suivant la force de la charge et la profondeur de la pénétration.

Ce tir s'exécute en général avec l'obus ordinaire. Cependant l'artillerie anglaise et l'artillerie italienne ont adopté un obus spécial ayant une très grande capacité, pouvant recevoir par suite une très forte charge, et susceptible d'être utilisé pour détruire les parapets et les traverses, découvrir les casemates, rendre impraticables les communications, bouleverser les terrepleins des batteries et en général l'intérieur des ouvrages.

En Angleterre, cet obus, appelé *double-shell*, est tiré par le canon de 7 pouces, qui est le canon normal de l'équipage de siège. Il est à peu près moitié plus long que l'obus ordinaire, et trois nervures longitudinales renforcent sa paroi, dont l'épaisseur est 1/7 du calibre (voir fig. 52).

En Italie, il s'appelle *obus à mine* ou *obus fougasse*, et on a cherché à aug-

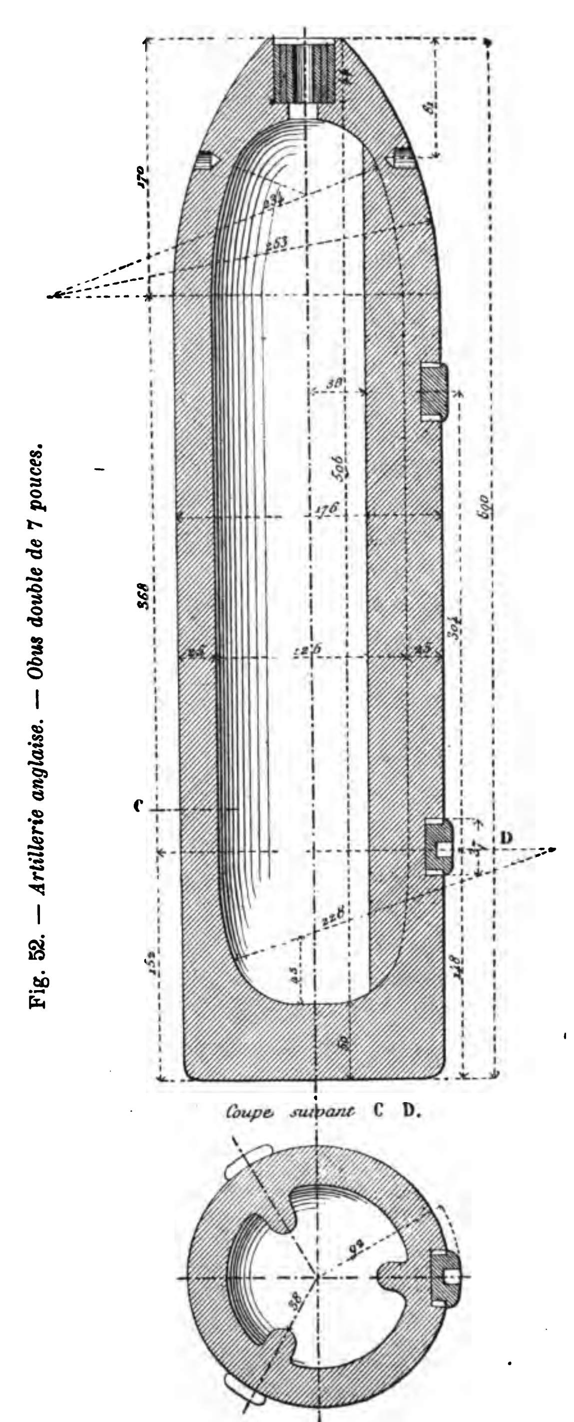


Fig. 52. — *Artillerie anglaise.* — *Obus double de 7 pouces.*

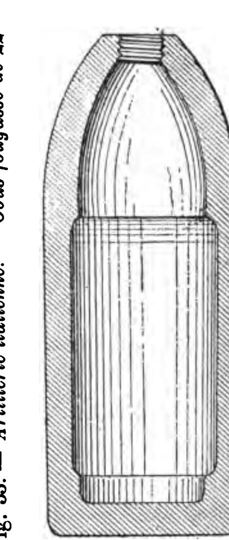


Fig. 53. — *Artillerie italienne.* — *Obus fougasse de 22c*

menter la capacité en réduisant autant que possible l'épaisseur de la paroi. Elle n'est que de 1/10 du calibre dans la partie moyenne, un peu plus sous l'ogive et à hauteur des couronnes d'ailettes. Avec une paroi aussi faible, l'obus se brise contre les maçonneries en ne leur causant le plus souvent que des dégradations insignifiantes. Aussi rendra-t-il plus de services au défenseur qu'à l'assiégeant, celui-ci ayant à battre des ouvrages en maçonnerie fortement blindés, tandis que celui-là n'a guère en face de lui que des parapets en terre.

§ 7. — IMPORTANCE DU CALIBRE.

On a vu précédemment, chap. II, § 4, combien il importe de prendre le calibre le plus élevé possible au point de vue d'un premier facteur de l'efficacité du tir : *la force vive.*

Au point de vue du nouveau facteur que nous venons d'étudier : *l'effet d'éclatement*, l'importance du calibre est peut-être aussi considérable, et le fait suivant nous suffira pour en donner la preuve. Dans le tir contre un épaulement en sable, un obus de 220^{mm}, arrivant dans de bonnes conditions, produit un déblai de

9 mètres cubes,

tandis que celui de 155^{mm}, dans les mêmes conditions, ne produit que

2 mèt. cub., 600.

(*Rapports de la commission de Calais*, n°s 208, 212 et 223; voir aussi le chapitre VIII ci-après, § 7).

CHAPITRE IV

ORGANISATION DES PROJECTILES *(Suite)*. — TIR CONTRE DES TROUPES

Il n'est pas besoin d'une force vive considérable pour mettre hors de combat les hommes et les chevaux, mais il faut une action étendue, efficace et prompte. Ici, bien plus encore que dans les cas du chapitre précédent, l'obus se montre supérieur au projectile massif : non seulement l'explosion multiplie l'agent meurtrier, mais encore le bruit et la fumée qui l'accompagnent ajoutent puissamment à l'effet moral, et contribuent à mettre le désordre dans les rangs ennemis [1].

Toute bouche à feu, quelle que soit sa destination spéciale, doit être à même d'agir efficacement contre des troupes, en cas de besoin. C'est à l'artillerie de campagne que ce genre de tir est surtout imposé, mais il faut aussi qu'elle puisse renverser des obstacles de résistance moyenne, comme il s'en présente toujours sur les champs de bataille, tels que murs de maisons, ouvrages de fortification passagère..... etc.

On n'a pas encore trouvé le moyen de satisfaire à ces deux exigences avec un seul projectile, et chaque bouche à feu en a *trois : l'obus ordinaire*, *l'obus à balles*, *la boîte à mitraille.*

---

1. Sous le nom de *bombes*, les projectiles creux furent introduits en France en 1634, mais il y avait plus d'un demi-siècle qu'ils étaient inventés. Strada, dans son livre sur la guerre des Pays-Bas, rapporte le fait suivant : « En 1580, les habitants de » Venloo, petite ville du Limbourg hollandais, voulurent donner au duc de Clèves le » spectacle de cette invention. Elle ne fit que trop d'effet, car la bombe, étant tombée » sur une maison, enfonça le toit et les planchers et y mit le feu. L'incendie se com- » muniqua aux maisons voisines et brûla les deux tiers de la ville. »

§ I. — OBUS ORDINAIRE.

Il faut considérer dans l'obus ordinaire l'*enveloppe* et la *charge*.

I. — L'enveloppe.

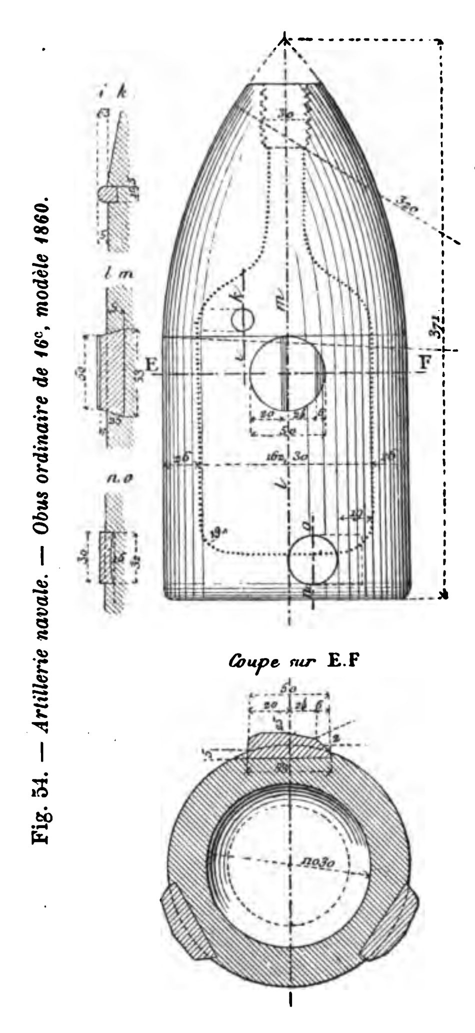


Fig. 54. — *Artillerie navale. — Obus ordinaire de 16c, modèle 1860.*

L'enveloppe doit avoir assez de solidité pour résister :

1° Au choc de départ et aux pressions que le projectile supporte pendant son trajet dans l'âme, pressions que nous avons évaluées dans la théorie des rayures (*Bouches à feu*, pages 49-57). Pour cela, on donne à la paroi, dans la partie la plus diminuée, une épaisseur d'environ 1/6 à 1/8 du calibre, et on fait le culot un peu plus fort, parce qu'il reçoit directement l'action des gaz.

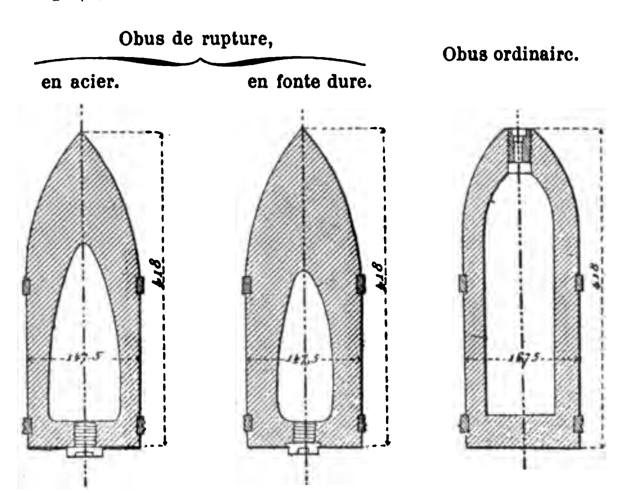
2° Au choc d'arrivée, parce que, suivant la remarque déjà faite § 2 du chapitre précédent, la rupture de l'obus ne doit être déterminée que par l'éclatement de la charge. A cet effet, on renforce généralement l'ogive; même, on le faisait autrefois d'une façon exagérée en donnant au vide intérieur la forme d'une *bouteille* (fig. 54), ou celle d'un *œuf* (fig. 55), formes qu'on a fini par abandonner, afin d'avoir la capacité intérieure plus grande et le centre de gravité moins en avant. La forme de bouteille a été celle des obus ordinaires de l'artillerie de terre du système 1859, et de l'artillerie navale des modèles de 1858, 1860 et 1862.

Fig. 55.



Fig. 56, 57 et 58. — *Artillerie Krupp.* — *Canon long de 15c.*

Obus de rupture, en acier. en fonte dure. Obus ordinaire.



Les figures 56, 57, 58 font bien ressortir la différence qu'il y a, dans la forme du vide intérieur, entre l'obus de rupture (voir le chap. précédent) et l'obus ordinaire.

Avec les obus où le forcement est produit par la ceinture arrière seule (chap. Ier, § 3), il est bon de tracer le vide intérieur de manière à renforcer la paroi à hauteur de cette ceinture (figures 59 et 60).

Fig. 59. — *Obus de 90.*

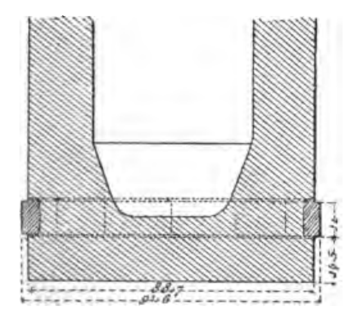
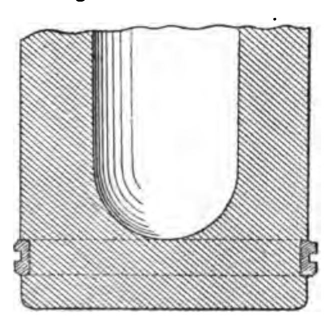


Fig. 60. — *Obus de 95.*



Pour régulariser le nombre et la grosseur des éclats, on a eu l'idée de les déterminer d'avance au moyen d'un réseau formé par deux séries de lignes de moindre résistance, et les obus ainsi organisés ont reçu le nom d'*obus à fragmentation systématique*.

Buriner ces lignes de rupture sur la surface extérieure de l'obus est l'idée qui se présente la première, et serait la solution la plus simple au point de vue de la fabrication. Mais cela paraît peu compatible avec les conditions du

mouvement du projectile dans l'air. Au contraire, on peut placer sans inconvénient les deux séries de lignes de rupture : ou toutes les deux sur la

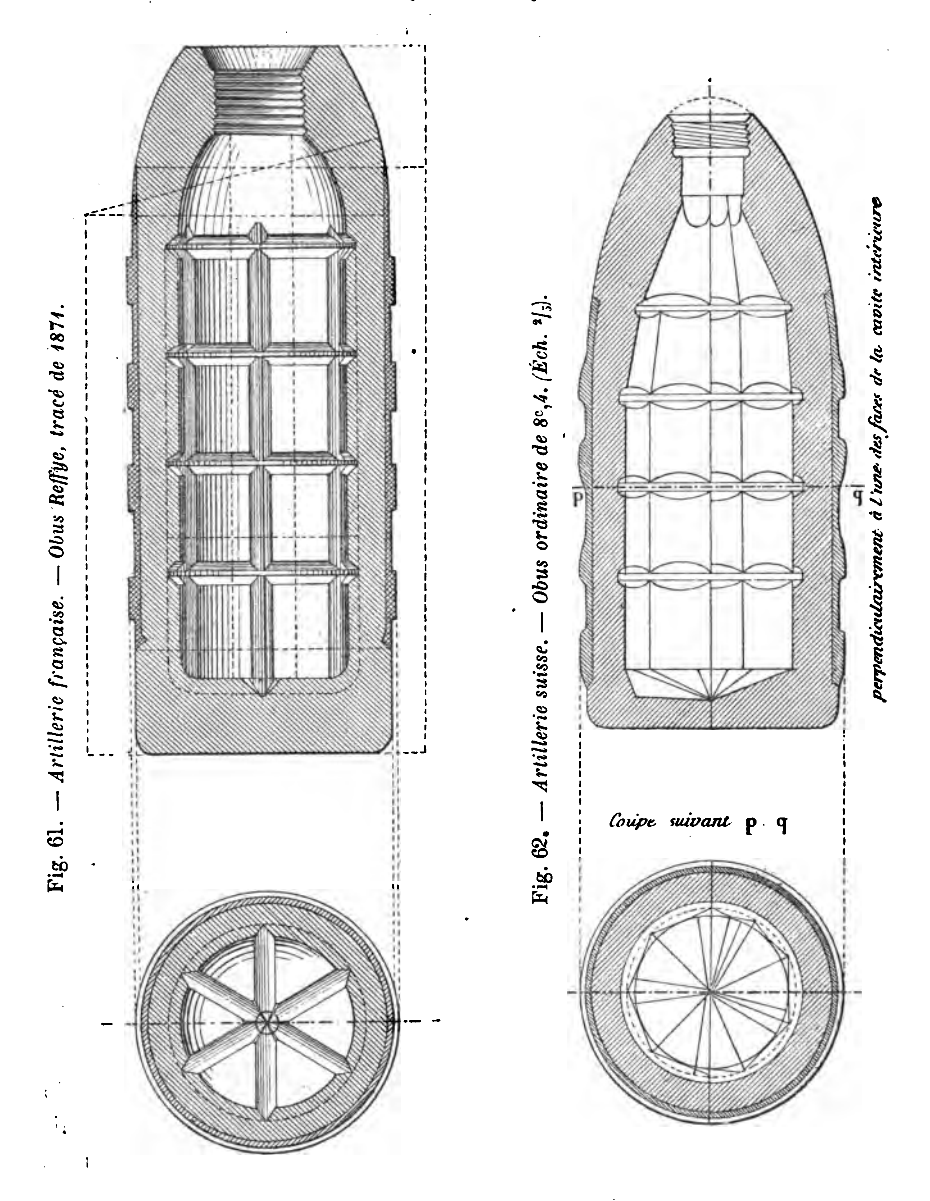


Fig. 61. — *Artillerie française.* — *Obus Reffye, tracé de 1871.*

Fig. 62. — *Artillerie suisse.* — *Obus ordinaire de 8c,4. (Éch. 2/3).*

surface intérieure, ou toutes les deux sur une surface intermédiaire, ou l'une sur la surface intérieure et l'autre sur la surface intermédiaire.

1° Dans le premier cas, les lignes de rupture peuvent n'être pas autre

chose que des sillons creusés suivant des méridiens et des parallèles; elles divisent alors la surface intérieure en compartiments qui sont rectangulaires dans la partie cylindrique, et peuvent se prolonger sous l'ogive et sur le culot d'après les formes affectées par ces parties (voir fig. 61). On peut encore, au lieu de donner à la surface intérieure la forme cylindrique, lui donner celle d'un prisme régulier : les arêtes de ce prisme seront déjà les lignes méridiennes de moindre résistance, et la série suivant les parallèles sera formée par des sillons dont le fond pourra être un cercle passant par les arêtes du prisme (voir fig. 62).

On remarquera que la rupture suivant un méridien est plus facile que celle suivant un parallèle, car, si on appelle R le rayon extérieur du projectile, r son rayon intérieur mesuré au fond des sillons, et T la ténacité du métal, la pression P suffisante pour le premier mode de rupture est donnée par l'équation

$$2rP = 2(R-r)T, \qquad \text{d'où} \qquad P = T\left(\frac{R}{r} - 1\right),$$

et celle P' suffisante pour le deuxième mode, par l'équation

$$\pi r^2 P' = \pi(R^2 - r^2)T, \qquad \text{d'où} \qquad P' = T\left(\frac{R^2}{r^2} - 1\right) > P.$$

Il suit de là, et l'observation le montre également, que les éclats seront souvent formés de plusieurs compartiments restés adhérents entre eux dans le sens longitudinal. On aurait été plus rationnel, et on aurait obtenu probablement plus de régularité, en creusant les sillons suivant deux séries de lignes inclinées à 45° sur les génératrices.

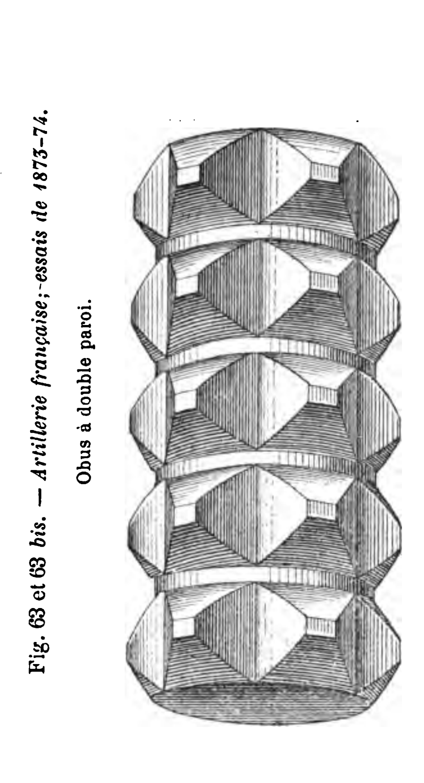
2° Si les deux séries sont placées *entre* les deux parois, l'obus se trouve, de fait, partagé en deux, l'un interne, l'autre externe, et le réseau des lignes de rupture forme sur le premier une surface à refends et bossages, sur laquelle se moule le second. Le premier projectile (fig. 63) a été coulé sur un noyau à la façon ordinaire, et a servi lui-même de noyau pour l'autre (fig. 63 *bis*).

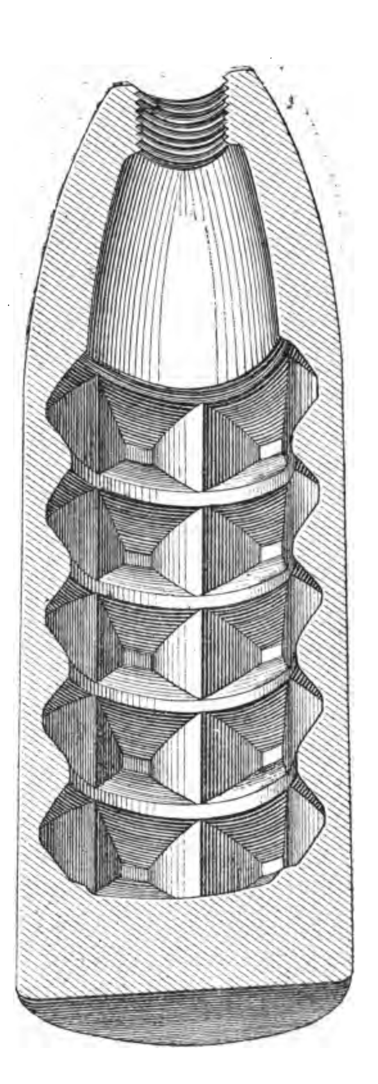
Cette construction, dont l'idée remonte à l'année 1865, constitue l'*obus à double paroi;* elle est ingénieuse, mais elle tient du procédé même de fabrication une cause de faiblesse qui expose l'obus à éclater dans l'âme du canon ou à se briser en arrivant au contact d'un obstacle matériel. Nous avons dit que le projectile interne sert de noyau pour couler l'autre. Or la fonte liquide, en arrivant au contact d'une surface métallique conductrice, se prend à l'état de fonte blanche sur une épaisseur plus ou moins grande, et la différence de retrait qui existe entre cette fonte et celle restée grise occasionne dans le projectile externe des fissures souvent assez considérables.

Une autre cause de fendillement consiste en ce que l'obus interne ne cède pas, comme le fait un noyau en sable, à la compression déterminée par le refroidissement de la fonte extérieure.

Fig. 63 et 63 *bis*. — *Artillerie française; essais de 1873-74.*

Obus à double paroi.





3° Dans le troisième système, les lignes de moindre résistance perpendiculaires à l'axe sont formées, comme dans le premier, par des sillons creusés sur la surface intérieure; celles suivant les méridiens sont, comme dans le second, sur une surface intermédiaire qui décompose encore le projectile en deux et qui pourra être, soit un prisme régulier, soit un cylindre festonné. De cette façon, les génératrices de la surface intermédiaire ne sont

pas affaiblies par de nombreuses et profondes coupures, et l'obus conserve mieux sa solidité.

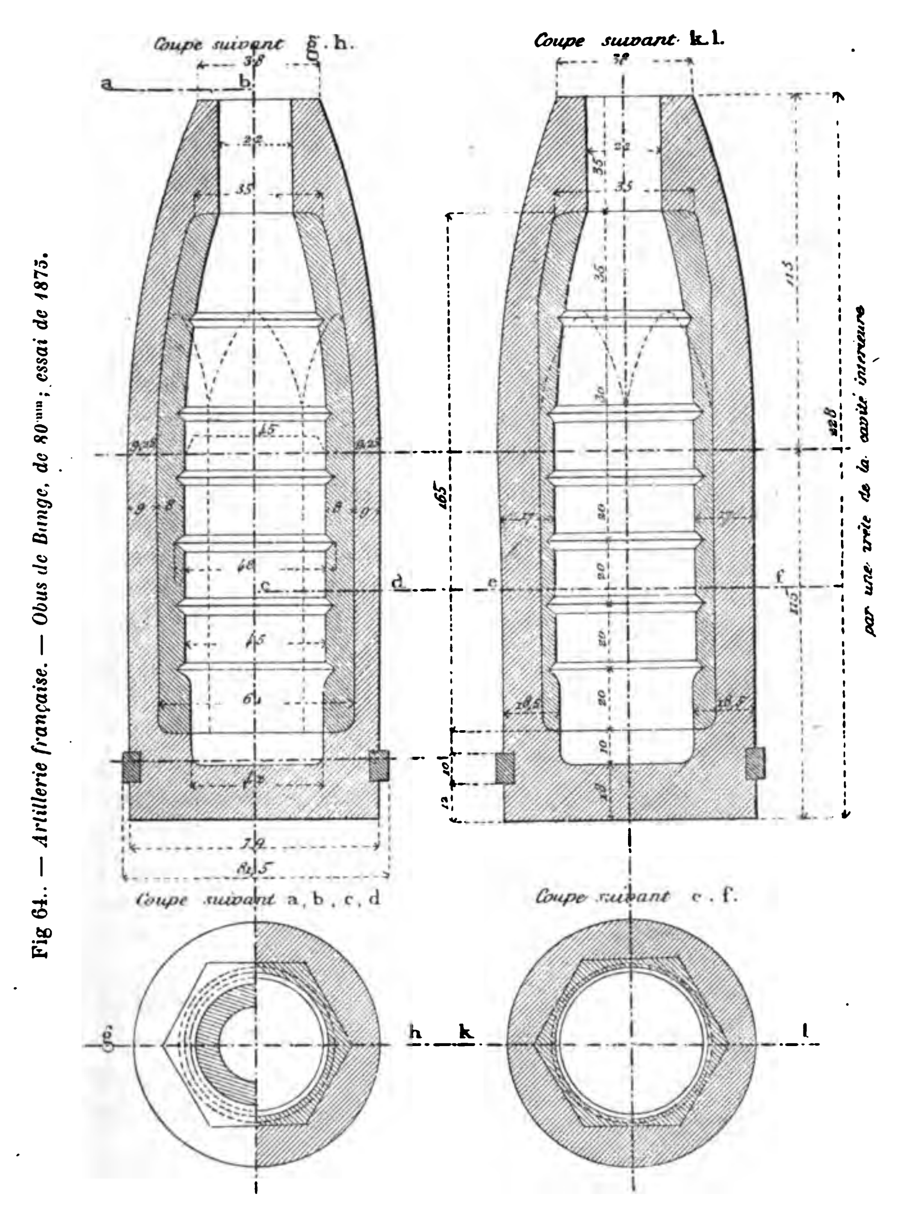


Fig 64.. — *Artillerie française. — Obus de Bunge, de 80^{mm}; essai de 1875.*

4° De ce troisième système en dérive un autre encore plus séduisant. Imaginons que les sillons creusés sur la paroi intérieure (fig. 65) soient remplacés par des joints allant jusqu'à la surface intermédiaire (fig. 66); nous

Fig. 65.

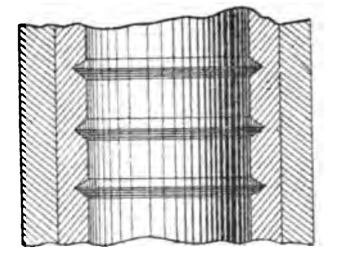


Fig. 66.

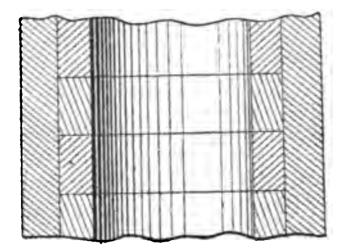
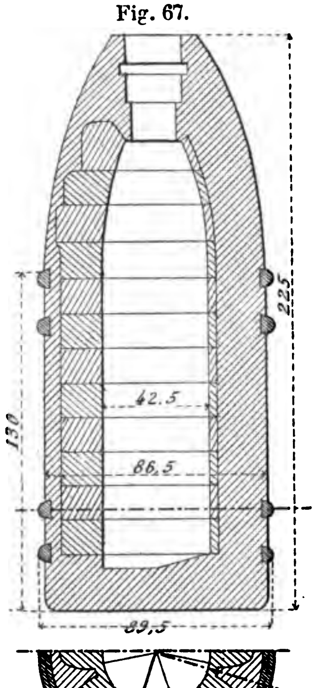
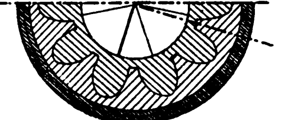


Fig. 67.





aurons un *obus à couronnes*, et si cette surface intermédiaire est un cylindre festonné (fig. 67), ce sera l'*obus à couronnes dentées*, ou *obus Uchatius*, adopté en Autriche et en Italie.

5° Ce dernier type nous conduit aux *obus à couronnes de balles*, ou *obus Voillard*, adoptés par l'artillerie française en 1879 pour les canons de 90. Bien que leurs propriétés les rapprochent des obus à balles (voir § 2), nous les plaçons ici, réservant pour le § 2 les types dans lesquels la division des fragments est, non pas *facilitée*, mais *faite complètement à l'avance*, en sorte que ces fragments constituent autant de solides distincts, qui prennent alors le nom de *balles*.

Dans les obus Voillard (fig. 68), les couronnes qui forment le noyau sont formées elles-mêmes d'espèces de sphères reliées ensemble par des cordons, le tout venu de fonte d'une seule pièce. Pour les couronnes qui correspondent à la partie moyenne de l'obus, chaque sphère est tronquée par une surface cylindrique ayant son axe parallèle à celui de la couronne, et par deux méplats perpendiculaires à cet axe, en sorte que le solide peut se définir aussi comme un cylindre à arêtes chanfreinées. Pour les couronnes voisines de l'ogive, la surface extérieure du petit solide est un cône parallèle à cette ogive ; pour celles voisines du culot, c'est un cône incliné en sens inverse, afin de conserver la résistance nécessaire à cette partie, sur laquelle est incrustée la ceinture forçante.

6° Enfin, il est clair qu'on peut construire, suivant un quelconque des systèmes précédents, des *obus à parois multiples*, et l'on y arrivera peut-être pour les gros calibres. Les figures 69 et 70 représentent des obus

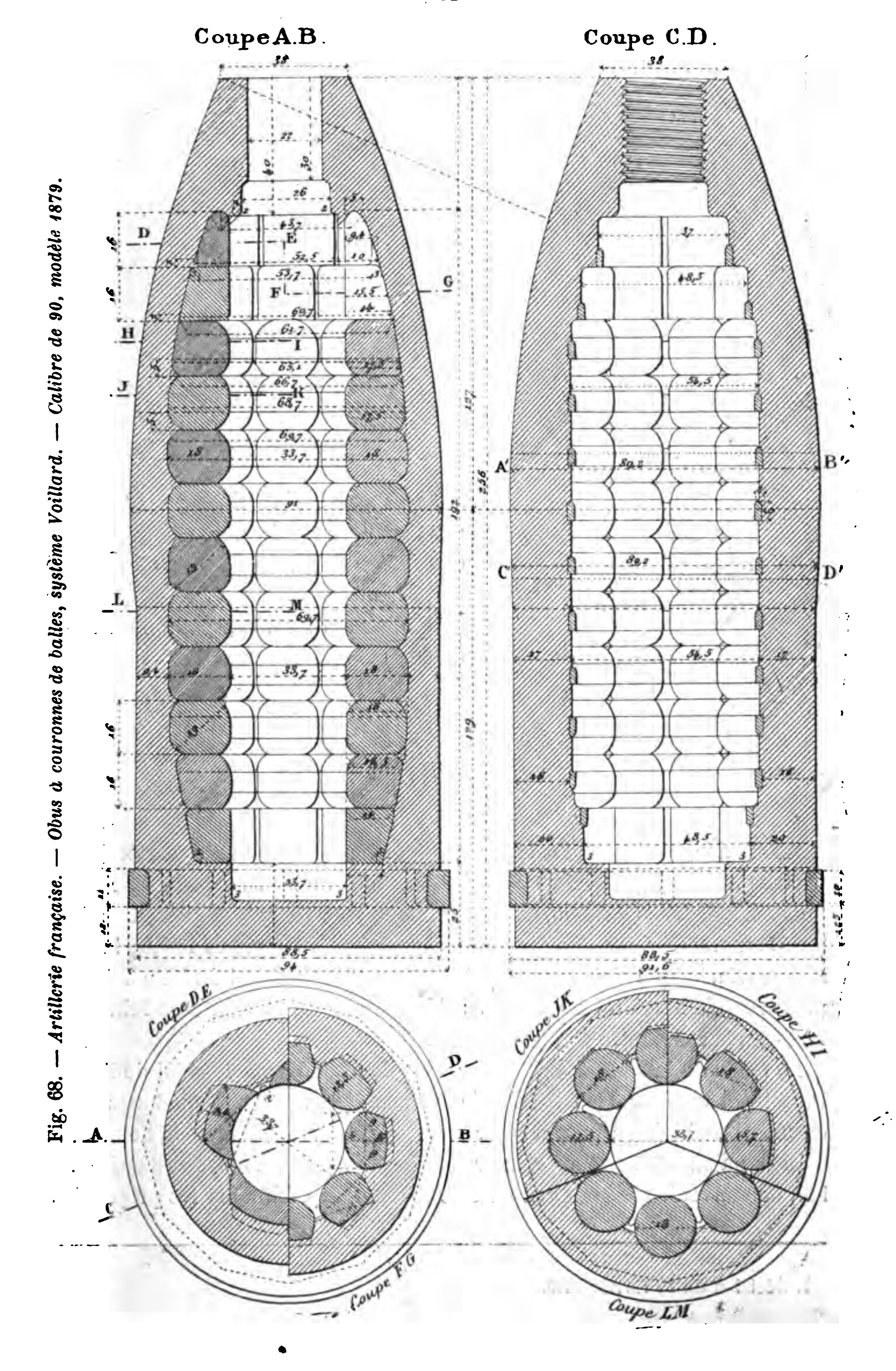


Fig. 68. — Artillerie française. — Obus à couronnes de balles, système Voillard. — Calibre de 90, modèle 1879.

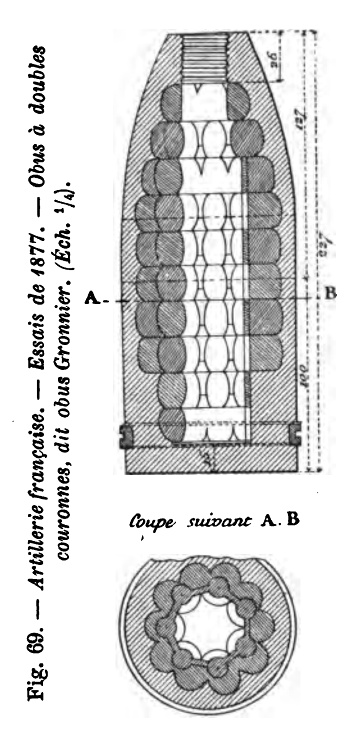


Fig. 69. — *Artillerie française. — Essais de 1877. — Obus à doubles couronnes, dit obus Gronnier. (Éch. 1/4).*

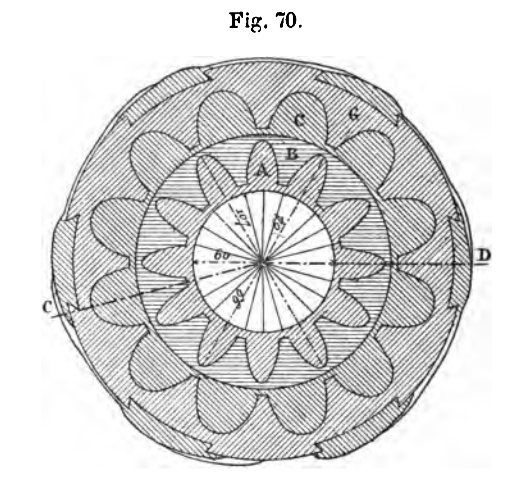


Fig. 70.

à triple paroi, l'un du type 4° essayé par l'artillerie italienne en 1878 pour un obusier de 15c, l'autre du type 5°, essayé par l'artillerie française en 1877, sous le nom d'*obus Gronnier*, pour le calibre de 90.

II. — La charge.

En France, la charge d'éclatement, pour tous les projectiles creux du département de la guerre, est formée[1] par une poudre ayant la même composition que celles à canon, mais plus fine et plus vive : les grains, d'environ 2,000 au gramme, ont une grosseur comprise entre $0^{mm},6$ et $1^{mm},6$; la densité gravimétrique doit être supérieure à 0,91 et la densité réelle à 1,7; la proportion d'humidité ne doit pas dépasser 1 0/0, et la vitesse initiale au fusil-pendule doit être de plus de 500^{m}.

Le poids de la charge d'éclatement est de 1/20 à 1/30 de celui de l'obus. Parfois, et surtout dans l'artillerie allemande, on y ajoute quelques morceaux de roche à feu pour exalter les propriétés incendiaires de l'obus.

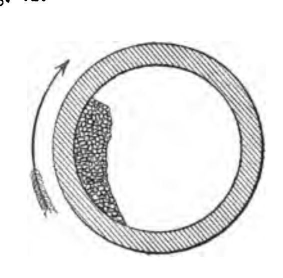
Bien qu'on n'ait encore rien trouvé de mieux, la poudre ordinaire est loin de convenir parfaitement au rôle d'agent explosif dans les projectiles

---

1. Décision du 13 février 1879.

creux. Elle n'a qu'une force médiocre. Elle se détériore à la longue en présence du fer, et c'est pour cela qu'on recouvre généralement la paroi intérieure de l'obus d'une couche de peinture, ou de poix, ou de vernis, aussi bien que pour prévenir l'inflammation des grains par leurs frottements contre les rugosités de cette paroi[1]. Enfin la poudre s'enroche au départ, c'est-à-dire que les grains, plus ou moins pénétrés et écrasés, s'agglomèrent en une masse très adhérente au culot, et dure au point de ne pouvoir être en-entamée que par le ciseau (fig. 71).

Fig. 71.



D'autre part, une poudre trop vive brise le projectile en une multitude d'éclats que leur peu de masse rend inoffensifs. C'est ce qui empêche l'emploi de la dynamite, des picrates et du fulmicoton.

Toutefois le chimiste anglais *Abel* paraît être parvenu à tirer parti de cette dernière substance en l'associant à l'*eau*, de la manière suivante. La charge, en fulmicoton sec, et relativement très faible, est renfermée dans un tube A lié à la fusée; tout le reste de l'obus est rempli de fulmicoton fortement imprégné d'eau pour les gros calibres, et d'eau pure pour les petits calibres; cette eau sert de véhicule pour transporter et disséminer sur la paroi l'effet de la charge.

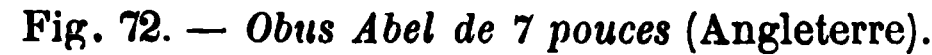
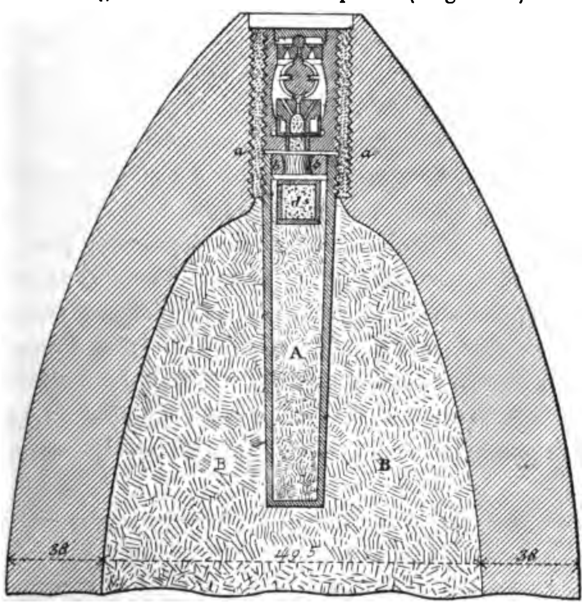


Fig. 72. — *Obus Abel de 7 pouces* (Angleterre).



Un défaut de l'obus Abel, c'est que l'explosion se fait

1. Le vernissage des projectiles à Calais a donné lieu à l'observation suivante.

A tube d'amorce contenant [illegible] fulmicoton sec et comprimé [illegible]

sans fumée, n'est pas vue du tireur, et ne lui permet pas de régler son tir.

Des obus à eau ont été expérimentés à Gavre. (Voir *Mémorial de l'artillerie navale*, 1876, 3e livraison.)

L'obus ordinaire, rempli de poudre et armé de la fusée, est dit *chargé en guerre*, ou simplement *chargé*. Par économie et pour diminuer les chances d'accident, on remplace souvent, dans les tirs d'expérience et d'école, la fusée par un tampon en zinc, et la poudre par du sable donnant à l'obus le même poids total; l'obus est dit alors *inexplosif*, *inerte* ou *lesté*.

Il y a lieu de rappeler ici que l'emploi de projectiles explosifs ayant un poids inférieur à 400 grammes est proscrit par une convention internationale.

§ 2. — OBUS A BALLES, OU SHRAPNEL.

L'obus ordinaire parait concilier aussi bien que possible, sinon aussi bien qu'on le désirerait, les deux choses qui sont demandées à l'artillerie : — effets meurtriers qu'il produit par ses éclats; — puissance de destruction des obstacles en terre ou en maçonnerie, qu'il doit à la solidité de ses parois et à la grande quantité de poudre qu'il renferme.

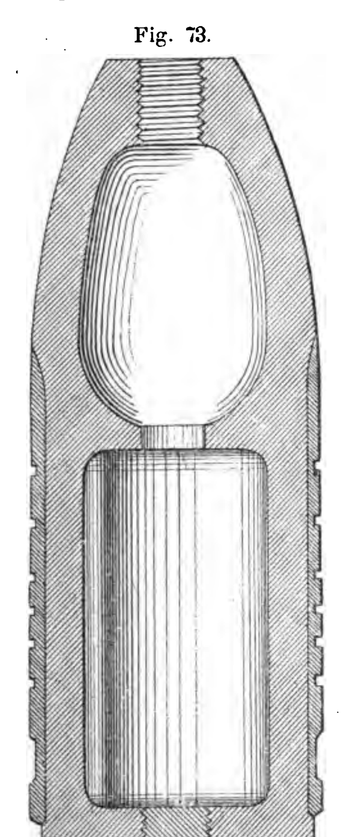
Mais le tir contre des troupes est le plus fréquent, au moins pour l'artillerie de campagne. De plus, ce cas est de ceux où il y a une importance capitale à produire le maximum d'effet dans le minimum de temps. Aussi l'artillerie possède un deuxième projectile, convenant uniquement pour le tir contre des troupes, mais mieux organisé pour donner de nombreux fragments; c'est l'*obus à balles*, appelé aussi *Shrapnel*, du nom de l'officier anglais qui l'inventa en 1803. Ce deuxième projectile prend de plus en plus d'importance à raison de ses effets meurtriers et de son rayon d'action qui atténue les erreurs de pointage, d'appréciation de distance, de mobilité du but. Déjà bien éloigné de sa première forme et se perfectionnant tous les jours, il

---

Pour l'application du vernis, les obus sont chauffés au moyen d'un jet de vapeur que l'on fait arriver dans l'intérieur; or, on a remarqué que sur certains d'entre eux la vapeur filtrait à travers la paroi et s'échappait à l'extérieur. Cette opération peut donc révéler certains défauts des projectiles. (*Revue d'artillerie*, novembre 1879.)

tend à remplacer l'obus ordinaire comme projectile normal de l'artillerie de campagne, de même que celui-ci avait remplacé le boulet massif[1].

Fig. 73.



Il faut considérer dans l'obus à balles l'*enveloppe*, la *charge* et les *balles*.

I. — L'enveloppe.

L'épaisseur de l'enveloppe doit être réduite au strict minimum, afin de pouvoir loger dans l'obus le plus grand nombre possible de balles. Pour lui conserver une solidité suffisante, on peut soutenir la paroi intérieure par des nervures (obus à balles Reffye, fig. 73), ou la décomposer en lobes contournant les balles (obus Voillard, fig. 74).

Malgré la réduction des épaisseurs, le poids de l'enveloppe en fonte représente encore environ les *deux tiers* du poids total de l'obus. D'autre part les éclats qu'elle fournit sont peu efficaces, parce qu'à raison de leurs formes irrégulières ils offrent beaucoup de prise à la résistance de l'air, et parce qu'à raison de leur position superficielle ils sont projetés au loin par la force centrifuge. Les tirs contre des panneaux

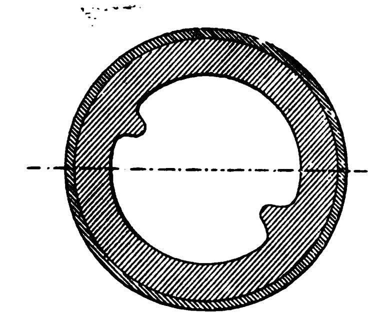
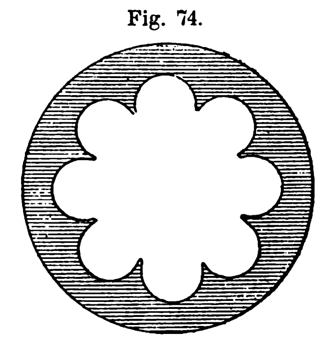


Fig. 74.



1. Voir dans la *Revue d'artillerie, mai 1880, pages 129 à 188*, un très remarquable travail sur la question des obus à balles, et sur de nouveaux dispositifs actuellement à l'étude.

montrent en effet que le chiffre des atteintes provenant des éclats n'est guère que le dixième de celui des balles. Celles-ci exercent donc la véritable action meurtrière sur le terrain battu; « les éclats y ajoutent bien » quelque chose par l'effet moral de leurs sifflements, la gravité des blessures qu'ils font, et l'extension de la zone dangereuse qui résulte de leur » dispersion; mais cette dispersion même et leur petit nombre diminuent » beaucoup leur importance relative[1]. »

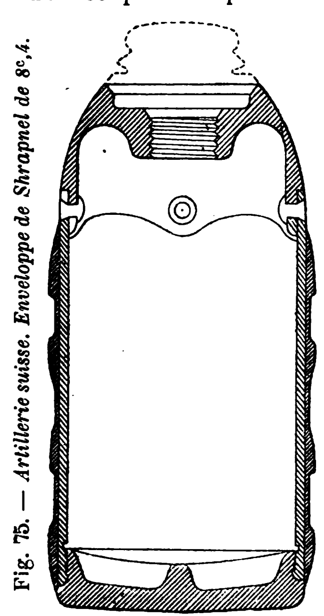


Fig. 75. — *Artillerie suisse. Enveloppe de Shrapnel de 8c,4.*

Afin d'augmenter la capacité intérieure, l'artillerie suisse, renonçant franchement au bénéfice des éclats fournis par l'enveloppe et la réduisant au simple rôle de véhicule, a remplacé la fonte par le fer forgé, dans la partie cylindrique de son obus à balles. Celui-ci est ainsi formé par une douille en fer, sur laquelle sont vissés d'une part le culot et de l'autre l'ogive, tous deux en fonte (fig. 75).

L'artillerie anglaise a poursuivi une autre idée : favoriser la projection des balles vers l'avant en facilitant la séparation de la tête. Pour cela, elle a fait l'ogive *en bois* (fig. 76 et 77).

Cette ogive, dans laquelle est ménagé le logement d'une fusée également en bois (voir chap. VI, § 3), est reliée par des bandelettes en tôle d'acier et des rivets avec le corps du projectile, qui n'est autre chose qu'une sorte de boîte cylindrique ouverte à l'avant.

II. — La charge.

Le poids de la charge d'éclatement du shrapnel est excessivement variable : on le voit osciller entre 1/50 et 1/500 de celui de l'obus. On tend, naturellement, à le réduire de plus en plus.

La charge fut d'abord mélangée avec les balles, qui étaient elles-mêmes libres dans l'obus. Mais cette disposition, que l'artillerie russe a conservée longtemps (voir fig. 78) présente beaucoup d'inconvénients : 1° la poudre est exposée à prendre feu au moment du départ par suite des chocs intérieurs qui se produisent; 2° pendant les transports, elle est triturée par les balles

1. *Rapport de la commission de Tarbes* du 19 avril 1877.

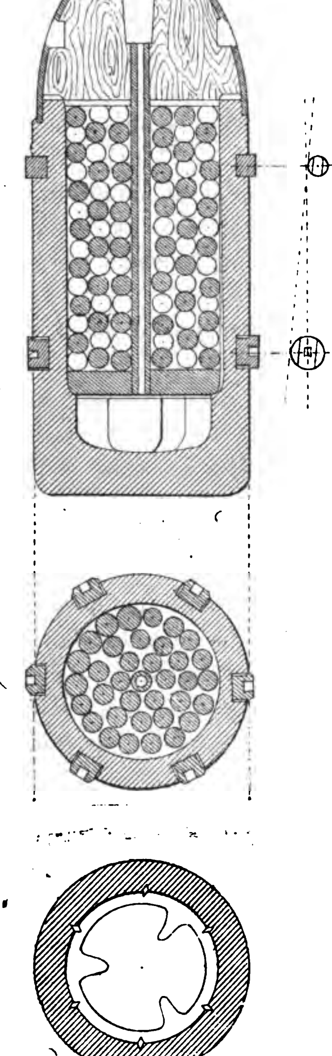


Fig. 76. — *Artillerie anglaise* ~~*Shrapnel*~~.

Shrapnel *Boxer de 9 pouces (Éch. 1/8).*

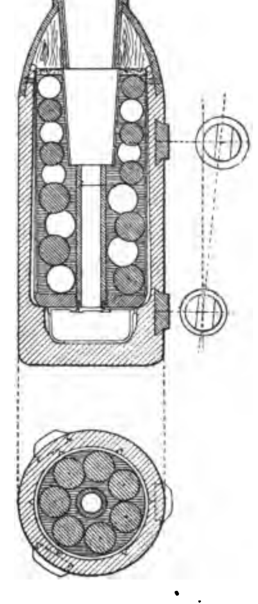


Fig. 77. — *Artillerie anglaise.*

Shrapnel de 9 livres (75mm). — (Éch. 1/4).

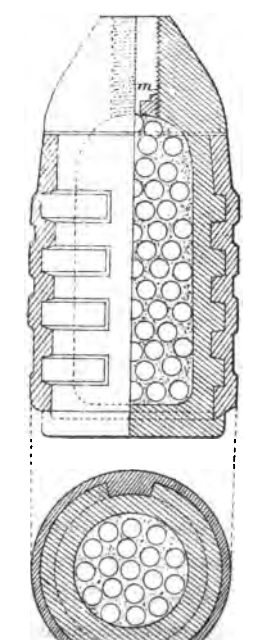


Fig. 78. — *Artillerie russe.*

Ancien obus à balles de 9 livres.

et transformée en poussier; 3° l'orifice de la fusée peut se trouver bouché par une balle, ce qui empêche ou retarde l'explosion; 4° la quantité de poudre nécessaire pour faire éclater l'obus est plus grande lorsque les grains sont disséminés.

Aujourd'hui la charge est toujours séparée des balles, et on la loge :

Soit dans une chambre sous l'ogive (artillerie française de 1859 à 1878; — voir la fig. 73);

Soit dans un tube central (artilleries suisse, russe, allemande; artillerie anglaise, en partie; artillerie française depuis 1878; — voir les figures 79 et 80);

Soit enfin dans une chambre adjacente au culot (artillerie anglaise, *en partie*, et artillerie autrichienne ; — voir les fig. 76, 77, 81).

Dans le troisième cas, la charge doit être mise en communication avec la fusée par un petit tube central, et ordinairement elle est séparée des balles par un disque non adhérent au projectile, qui leur transmet son impulsion tout d'une pièce.

On voit qu'avec son ogive en bois se détachant sans le moindre effort et sa charge à l'arrière, le shrapnel Boxer peut être comparé à une petite bouche à feu transportée à quelques mètres en avant du front ennemi et y vomissant tout à coup une gerbe de mitraille. A ce point de vue, la disposition adoptée par les Anglais est plus rationnelle que celle de l'ancienne artillerie française, où la vitesse imprimée aux balles par la charge se retranche de celle que possédait le système avant l'explosion, et que celle de l'artillerie allemande, où elle s'unit à la force centrifuge pour disperser les balles latéralement. Mais la vitesse dont il s'agit n'est que de 20 à 30 mètres (voir plus loin, chap. IX, § 1), c'est-à-dire que le *dixième* de la vitesse commune que possédait tout le système avant l'explosion; donc elle ne dévie pas beaucoup les balles et il semble que la préférence à accorder à l'un des trois systèmes doive dépendre plutôt du volume laissé disponible pour les balles.

III. — Les balles.

Une fois que l'explosion leur a fait voir le jour, les balles subissent la résistance de l'air, dont l'enveloppe les garantisssait jusque là; il faut, comme nous l'avons fait pour le projectile (voir chap. II), les organiser de la manière qui leur donnera le plus d'aptitude pour braver cette résistance et conserver leur force vive. D'autre part, il importe d'utiliser le mieux possible l'espace restreint dont on dispose dans le véhicule qui les transporte depuis le canon jusqu'au point où elles doivent s'épanouir en gerbe meurtrière.

Telles sont les deux conditions principales; leur réalisation dépend de la *matière première* et de la *forme* des balles.

Matière première. — Le plomb, par sa grande densité, est le métal qui réalise le mieux la première condition, et, pour ce motif, ç'a été le plus employé. Mais il est trop mou. Les balles en plomb éprouvent par le choc de départ des déformations qui favorisent l'action retardatrice de l'air, et souvent même elles se collent ensemble par paquets. Ces déformations sont tellement fortes qu'on les a vues parfois amener une sorte de gonflement de l'obus, et le faire crever dans l'âme. (Rapport de la commission de Calais du 4 décembre 1876.)

On donne au plomb de la dureté en lui associant de l'antimoine, mais on ne peut pas arriver à le durcir suffisamment, parce qu'il faut rester en dessous de la limite à laquelle l'alliage deviendrait cassant[1].

On échappe à l'inconvénient du plomb par l'emploi du fer ou du zinc, qui lui sont inférieurs en densité dans le rapport de 2 à 3 (plus exactement 7,2 à 11,3 pour le plomb pur, et 7,2 à 10,8 pour le plomb durci par l'addition d'un dixième d'antimoine). Les balles ont alors un coefficient balistique moins bon, mais on trouve, dans le fait même de la diminution de densité, un avantage important pour l'artillerie de campagne : c'est qu'il devient plus facile d'organiser un obus à balles ayant la même forme et le même poids que l'obus ordinaire, et pouvant, par conséquent, être tiré avec les mêmes hausses.

Forme des balles. — La forme sphérique est la meilleure au point de vue du mouvement individuel des balles; jusqu'ici elle a été la plus employée et, en général, on immobilise les balles en coulant dans les interstices du soufre ou de la stéarine[2].

---

1. Le fait suivant montre d'une façon péremptoire l'insuffisance du plomb, *même durci*. Lorsqu'on tirait des obus à balles de 5 et de 7 à Calais, il n'était pas rare de rencontrer sur la plage des balles agglomérées au nombre de 2, 3 et même 4. On trouva une fois la partie postérieure d'un obus à balles de 5, restée intacte et renfermant toutes les balles, au nombre de 46 : 2 étaient agglomérées; 19 étaient aplaties, déchiquetées, et ne présentaient plus aucune forme; 8 étaient très déformées, quoique encore à peu près rondes; 8 étaient très légèrement déformées; 9 seulement étaient presque intactes.

2. C'est un officier de l'artillerie hanovrienne, nommé *Siemens*, qui eut l'idée, en 1847, de couler du soufre dans les interstices des balles, ménageant ainsi à l'avant une véritable chambre pour la charge. Le tube central fut inventé plus tard par *Breithaupt*, de l'artillerie hessoise. Nous ignorons quel est l'inventeur du troisième dispositif.

Ces insterstices représentent une perte sèche des 4/10 de la capacité totale. L'artillerie autrichienne avait essayé, vers 1860, d'en tirer parti en les remplissant avec un alliage de zinc et d'antimoine, à la fois très fusible et très cassant : on espérait que, lors de l'éclatement, les balles reprendraient leur liberté aussi bien qu'avec du soufre, et que les morceaux d'alliage formeraient eux-mêmes comme autant d'autres balles, à la vérité très mal conditionnées pour se mouvoir dans l'air, mais cependant de nature à augmenter l'effet produit sur l'ennemi. On fut obligé de renoncer à ce système, parce que la séparation n'avait pas toujours lieu.

Fig. 79. — *Artillerie française. — Obus à balles de 95mm.*

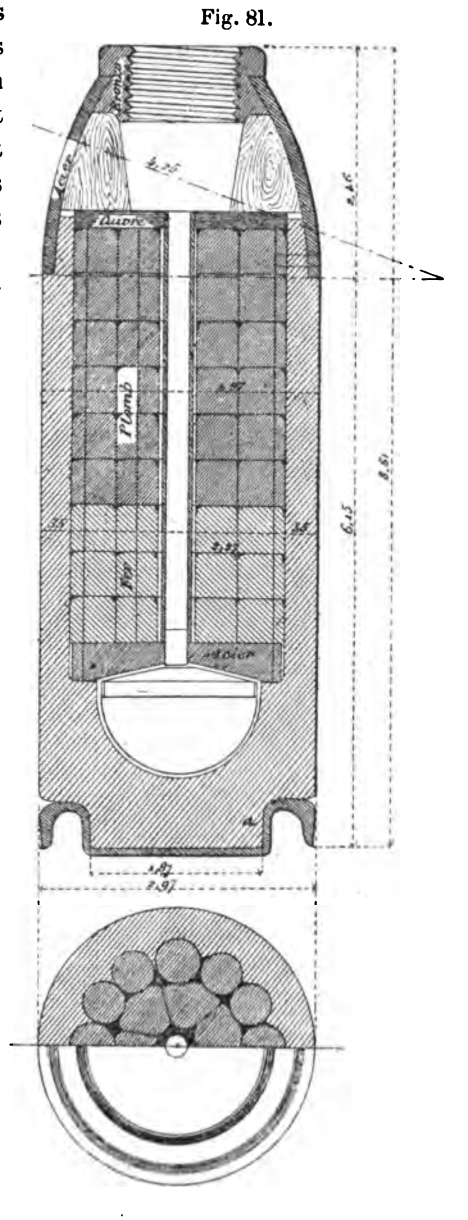
Coupe HHK
Coupe F G.
Coupe N O
Coupe C D D E
Coupe P Q
Coupe R S
Coupe L M
Coupe A B
Rondelle

On diminue les interstices en enlevant de la sphère deux segments opposés, ce qui forme deux méplats par lesquels les balles reposent les unes sur les autres. Tel est l'obus à balles de 95 (obus Voillard), où en outre une couronne a été enlevée tout autour (fig. 79).

L'artillerie anglaise emploie sous le nom d'*obus à segments*, dans les canons du système Armstrong, un obus à balles où les interstices sont entièrement supprimés. C'est tout simplement un obus à couronnes (voir le paragraphe précédent) dans lequel les couronnes sont elles-mêmes divisées par des plans méridiens équidistants (fig. 80). Ce système est mauvais, à cause de la forme par trop irrégulière des segments; aussi les Anglais ne l'ont pas conservé dans leur nouveau matériel.

Fig. 80.

Fig. 81.



Le même ingénieur Armstrong a présenté en 1878, à l'artillerie espagnole, un canon de campagne dont l'obus à balles participe à la fois des deux systèmes précédents. Immédiatement sous l'enveloppe (voir fig. 81, page précédente) se trouve un premier cercle de balles faites et disposées comme dans l'obus Voillard; puis vient un cercle de *secteurs* qui remplissent l'espace annulaire compris entre ces balles et un petit tube central. Le reste du projectile rappelle le type général du shrapnel anglais : ogive en bois enfermée sous une mince coupole d'acier que des rivets relient avec le corps de l'obus; charge à l'arrière dans une chambre séparée des balles par un disque métallique et communiquant avec la fusée par un tube central rempli de poudre. Le canon se charge par la bouche; l'anneau qu'on voit autour du culot est un anneau expansif, qui a été décrit chapitre Ier, § 4.

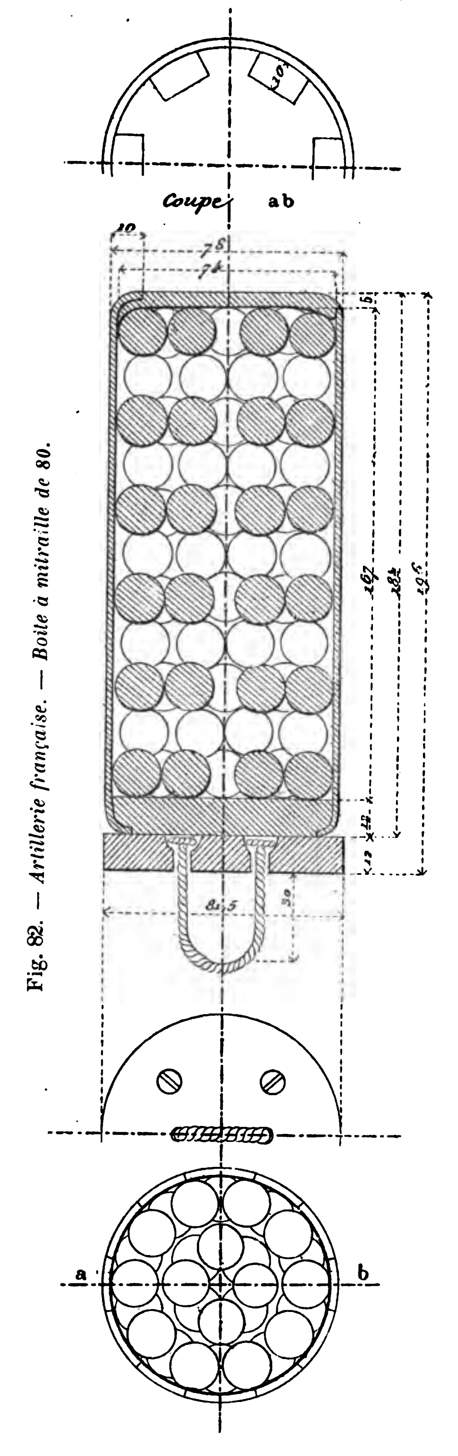


Fig. 82. — *Artillerie française. — Boite à mitraille de 80.*

§ 3. — BOITE A MITRAILLE.

La boîte à mitraille est le plus simple des projectiles. C'est une douille en tôle ou en zinc laminé, fermée aux deux bouts par des culots en fer ou en zinc fondu, et remplie de balles en fer, ou en fonte, ou en plomb durci, qui s'en séparent à la bouche même de la pièce. Aujourd'hui ce projectile n'a qu'une valeur défensive.

La figure 82, page 72, représente la boite à mitraille du canon de 80. La douille est reliée par des franges avec le couvercle et le culot. A celui-ci est fixée par quatre vis une rondelle-arrêtoir en noyer, avec poignée en corde. Le diamètre extérieur de la douille est inférieur de $0^{mm},5$ à celui des obus, et le diamètre de la rondelle-arrêtoir est égal à celui de leur couronne forçante. Les balles sont en plomb durci (plomb 9/10, antimoine 1/10) et ont un diamètre de $16^{mm},7$; du soufre fondu remplit les interstices.

Nous représentons aussi la boite à mitraille de l'artillerie allemande.

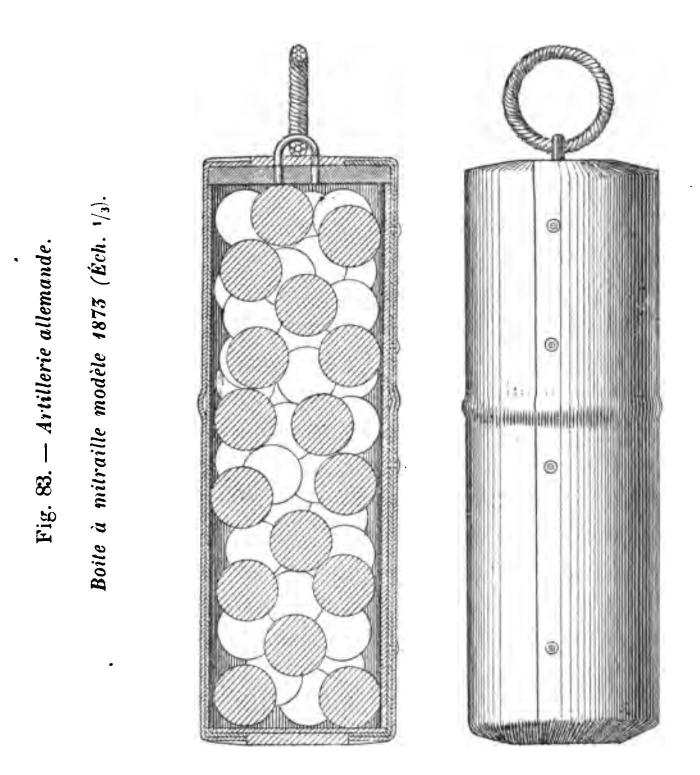


Fig. 83. — *Artillerie allemande.*

Boite à mitraille modèle 1873 (Éch. 1/3).

§ 4. — OBUS A PLUSIEURS FINS

On a cherché à réunir dans un seul type les propriétés des trois espèces de projectiles que nous venons d'examiner : l'obus ordinaire, l'obus à balles et la boîte à mitraille. Telle est la prétention de l'obus à segments (voir page 71), qui réunit en effet deux propriétés en apparence contradictoires : 1° éclatement très facile et pouvant être produit par une faible charge de

poudre, parce que l'enveloppe est très mince; 2° grande solidité contre les efforts venant du dehors, à raison de l'appui que les segments, disposés comme les voussoirs d'une voûte, prêtent à cette enveloppe. La première qualité et le grand nombre de segments qu'il renferme le rendent propre à servir d'obus à balles; la seconde d'obus ordinaire. Armé d'une fusée à double effet susceptible de donner l'éclatement à la distance *zéro*, il remplace aussi la boîte à mitraille.

Une pareille simplification serait assurément très avantageuse pour l'artillerie de campagne. Mais on ne doit pas oublier qu'il est des cas où la valeur de l'obus ordinaire tient beaucoup à ce qu'il renferme une forte charge de poudre, qualité que ne saurait présenter un projectile devant servir d'obus à balles. D'autre part, le tir à mitraille ne s'exécutera plus guère désormais que lorsqu'une batterie se verra chargée par la cavalerie ennemie. Pour une circonstance aussi critique, il faut avoir un projectile extrêmement simple, se prêtant à un tir très rapide, n'ayant pas une fusée qu'il faille régler avant de le mettre dans le canon, et qui soit exposée à ne pas fonctionner ou à fonctionner tardivement. Il semble donc bien difficile, au moins pour l'artillerie de campagne, de remplacer par un type unique ces trois types classiques de l'obus ordinaire, l'obus à balles et la boîte à mitraille.

Mais, bien qu'il y ait trois types, il n'y a en réalité que deux fonctions. L'obus à balles et la boîte à mitraille remplissent le même rôle, celle-ci pour les très petites distances, celui-là pour les distances supérieures à 600 mètres. Il n'existerait pas d'obus à balle si l'on avait trouvé le moyen d'étendre au loin l'efficacité de la boîte à mitraille, et celle-ci n'aurait pas de raison d'être si l'on possédait un moyen simple et sûr de faire éclater l'obus à balles à la bouche même de la pièce. (Voir chap. IX, § 5.)

CHAPITRE CINQUIÈME

FUSÉES PERCUTANTES

§ 1. — GÉNÉRALITÉS SUR LES FUSÉES

On a vu précédemment (chap. III et IV) les raisons qui rendent le projectile explosif presque toujours préférable à celui agissant comme une masse indivisible. Puis on a étudié les dispositifs qui ont pour objet de favoriser et de régulariser l'éclatement. Mais il est essentiel de déterminer cet éclatement *juste au moment opportun*, lequel n'a qu'une très courte durée, à raison de la vitesse qui emporte le projectile.

Il existe un cas où on peut l'obtenir sans aucun dispositif spécial : c'est celui examiné dans les premiers paragraphes du chapitre III, le tir contre les cuirasses de navires. L'énorme quantité de force vive qui disparaît dans le ralentissement brusque infligé au projectile renaît sous forme de chaleur : il en résulte une élévation de température qu'on évalue à 400° environ, et qui est suffisante pour qu'une charge de poudre enfermée dans le projectile s'enflamme d'elle-même[1]. L'inflammation est d'ailleurs favorisée par ce fait que la poudre qui, au départ, s'était ramassée contre le culot (chap. IV, § 1, II), est, à l'arrivée, précipitée violemment contre le dôme formant le dessous de l'ogive.

Souvent même, l'inflammation serait trop rapide pour assurer par une bonne pénétration l'effet destructeur maximum. Mais on la règle en enveloppant la charge dans de la flanelle plus ou moins épaisse et, en variant cette épaisseur, on peut arriver à faire éclater le projectile, soit dans la plaque, soit dans la muraille, soit même au delà.

---

1. Il a été constaté que le choc d'un projectile animé d'une certaine vitesse contre un obus chargé de poudre détermine l'explosion de celui-ci. Autrefois on expliquait ce fait en disant que l'obus est brisé par le choc, que des étincelles jaillissent et mettent le feu à la charge; le fait est de la même nature que celui mentionné dans le texte et il est préférable de l'expliquer par le même principe de thermodynamique.

Dans tous les autres cas, l'éclatement de l'obus exige un dispositif spécial qu'on appelle *la fusée*, et dont l'organisation est un des problèmes à la fois les plus importants et les plus délicats de l'artillerie moderne.

Les conditions générales auxquelles la fusée doit satisfaire sont :

Fonctionner avec certitude et précision ;

Présenter toute sécurité dans la fabrication, les manipulations, les transports et les manœuvres ; en particulier pouvoir se fixer sur l'obus et s'enlever sans difficulté ni danger ;

Se conserver sans détérioration pendant plusieurs années, même dans des magasins un peu humides ;

Ne pas retarder le tir, au moins dans le matériel de campagne.

Ajoutons que la bonté d'une fusée est loin de dépendre uniquement du principe de sa construction. Elle dépend au moins autant de l'application de ce principe, c'est-à-dire du métal avec lequel sont fabriquées les diverses parties, de leurs formes et dimensions, de leur solidité, du chemin qu'on fait suivre aux gaz enflammés, de la précision du travail, de divers tours de main de fabrication, des précautions prises contre l'humidité, et contre les chocs, contacts ou mouvements intempestifs..., etc. Cela est tellement vrai qu'on a vu bien des fois des fusées excellentes en théorie se conduire très mal dans les épreuves, et que celles actuellement adoptées ne sont arrivées à leur forme définitive que par une multitude de modifications de détail apportées successivement au projet primitif, et indiquées par les expériences de tir, de transport et de conservation.

Toute fusée comporte divers organes réunis dans un *corps de fusée*, qui est fixé sur le projectile, et communique avec la capacité renfermant la charge d'éclatement.

Ce corps de fusée est généralement métallique, le bois ayant les défauts de s'avarier promptement, de travailler sans cesse par suite des influences atmosphériques, de ne comporter ni des dimensions faibles, ni une grande précision dans les formes, de prendre part à une combustion se produisant dans son intérieur.

Les métaux, au contraire, peuvent être employés sous de petits volumes et recevoir les formes les plus compliquées, les empreintes les plus délicates ; ils se conservent parfaitement et sont insensibles aux variations atmosphériques ou, du moins, n'en éprouvent que des dilatations négligeables ; ils fournissent des corps de fusée pouvant se poser et s'enlever avec facilité, et abritant bien contre toute action extérieure les organes qu'on y renferme. Mais ils élèvent les prix de revient, et exigent une fabrication spéciale.

Les métaux principalement employés sont :

La fonte, qui est très résistante, mais se coule difficilement sous de petites dimensions, et ne se visse pas exactement;

Le bronze et le laiton, qui sont très employés en France, surtout le premier;

Un alliage de plomb et d'étain ($Pb^2 Sn^1$), et un alliage d'étain et d'antimoine ($Sn^{88} Sb^{12}$), qui ont été longtemps préférés en Allemagne parce qu'ils reviennent moins cher;

Enfin un alliage ternaire de cuivre, d'étain et de zinc, qui est très résistant, et qu'on emploie en Angleterre sous le nom de *gun-metal*.

Dans les divers organes, on peut rencontrer, seuls ou ajoutés à un autre métal formant la masse principale :

L'étain, qui augmente la fusibilité et la ténacité;

Le plomb, qui donne de la masse, et empêche le composé de prendre une texture fibreuse;

Le bismuth, qui accroît la fusibilité, l'éclat et la dureté;

Le zinc, qui donne de la dureté;

L'antimoine, qui rend cassant.

Le corps de fusée se visse, à la tête de l'obus, dans un trou appelé l'*œil*, et il faut que les filets soient dirigés en sens inverse des rayures du canon, afin que la rotation du projectile sur lui-même ait pour résultat de visser la fusée encore plus fortement, et non pas de la dévisser. L'opération se fait au moyen d'un clé à anneau polygonal ou à fourche, ou d'une broche engagée dans un trou transversal. Il importe qu'il n'y ait pas de grain de poudre dans les filets de l'écrou, et lorsqu'on verse de la poudre dans le projectile, ce doit toujours être au moyen d'un entonnoir.

Les fusées se divisent en deux grandes classes : celles dont le fonctionnement est déterminé par le choc d'arrivée : *fusées percutantes*, et celles où il ne dépend que du temps écoulé depuis le départ du projectile : *fusées à durée*. Dans les premières, les difficultés d'organisation, de fabrication et de conservation sont moindres; aussi elles ont atteint une perfection plus grande et leurs effets sont plus réguliers. Elles paraissent d'ailleurs se prêter à un plus grand nombre de circonstances de la guerre.

§ 2. — FUSÉES PERCUTANTES SANS COMPOSITION FULMINANTE

Le problème de la fusée percutante ne date, en quelque sorte, que de l'artillerie rayée, car la solution en a été singulièrement facilitée par ce fait

que le projectile part en tournant autour d'un axe toujours le même et connu d'avance, et va frapper l'obstacle par une région déterminée de sa surface.

On avait cependant, avec les bombes sphériques, fait quelques essais reposant sur les principes suivants :

1° Propriété que présentent certaines matières, par exemple, l'acide sulfurique et le chlorate de potasse, de former par leur mélange un composé inflammable, mélange qui est déterminé par le choc d'arrivée [1]. — 2° Propriété du plâtre de se fendiller par le choc, ou du zinc fondu de devenir cassant à la température de 150°, et utilisation de l'une ou l'autre de ces propriétés pour mettre en communication la chambre renfermant la charge d'éclatement de l'obus avec une autre renfermant une matière garde-feu que les gaz du canon ont enflammé au départ.

Avec l'artillerie rayée, cette communication s'obtient plus efficacement en appliquant le principe de l'*inertie*. C'est ce que fit en 1867 le commandant Florentin, alors lieutenant. Son idée a donné naissance à un certain nombre de fusées qu'on appelle *fusées percutantes par les gaz*, et dont une a été la fusée de l'obus ordinaire de campagne de l'artillerie autrichienne, depuis 1863 jusqu'à la transformation d'ensemble accomplie en 1875.

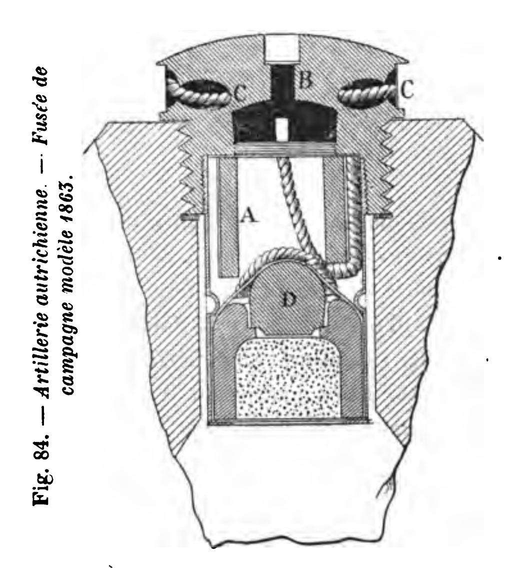


Fig. 84. — *Artillerie autrichienne. — Fusée de campagne modèle 1863.*

Dans la fusée autrichienne, représentée ici, la matière garde-feu est un cylindre creux A, formé par un mélange de :

20,3 parties de salpêtre,
0,6 — de soufre,
23,8 — de charbon et résine,

cylindre qu'on fait au moule en humectant le mélange. Il est logé dans un compartiment antérieur de la fusée, au-dessous d'une masse de pulvérin fortement tassé B, communiquant avec l'extérieur par des brins de mèche à étoupille C. Le compartiment postérieur est rempli de poudre et est séparé du précédent par un bouchon métallique assez lourd D, maintenu seulement par des

1. Depuis, on a repris ce principe pour l'établissement de *fusées volcaniques* : c'est le

brins de mèche à étoupille; ce deuxième compartiment n'est lui-même séparé de la chambre de l'obus que par une mince rondelle d'étain.

Au départ, la flamme du canon est communiquée au pulvérin, qui brûle assez longtemps pour porter au rouge le cylindre creux, et celui-ci reste tel jusqu'à l'arrivée. Alors le bouchon métallique, rendu libre par la combustion des brins qui le ficelaient sur le compartiment postérieur, est précipité en avant, comme le voyageur dans une voiture arrêtée tout d'un coup; il en est de même pour les grains de poudre, lesquels prennent feu au contact du cylindre; l'explosion fait crever la rondelle d'étain et le feu se communique à la charge de l'obus.

§ 3.—FUSÉES PERCUTANTES AVEC COMPOSITION FULMINANTE. — PRINCIPES DE L'ÉCRASEMENT ET DU REFOULEMENT.

L'introduction d'une capsule fulminante, dont l'emploi est aujourd'hui universel, remonte à l'année 1825. Cette capsule peut être formée, soit avec du fulminate de mercure, soit avec un mélange de chlorate de potasse et de ~~sulfate~~ sulfure d'antimoine. Le dernier ingrédient, bien que plus hygrométrique, est généralement préféré, parce que son action est plus régulière et son emploi moins dangereux. Parfois on ajoute du verre pilé pour augmenter la sensibilité de la composition, mais il faut prendre du verre à vitre ordinaire, et non du cristal, qui est plus instable.

Toutes les fusées percutantes à fulminate peuvent être rapportées à trois grands principes : de l'*écrasement*, du *refoulement* et de l'*inertie*.

Avec les premiers canons rayés (Cavalli, 1846, siège de Gaëte), parut une fusée percutante reposant sur le principe *de l'écrasement*. C'est tout simple-

---

nom qui a été donné à un appareil destiné à produire, au bout d'un temps plus ou moins long, l'explosion d'un obus, d'une masse de poudre, ou de toute autre matière explosible au milieu de laquelle on l'a abandonné, appareil qui serait utilisé dans diverses circonstances de la guerre défensive, par exemple, pour faire sauter les magasins d'un fort évacué à la hâte, détruire un matériel qu'on est obligé d'abandonner..... Ici le mélange est déterminé, non plus par un choc, mais par une corrosion chimique à laquelle on donne à traverser une épaisseur plus ou moins grande. — Voir la description d'un appareil de ce genre dans le *Mémorial de l'artillerie de la marine*, 1876, 1re livraison.

une capsule fulminante coiffant une cheminée de fusil dont le canal communique

ment ~~une cheminée de fusil, coiffant un canal qui communique~~ avec l'intérieur du projectile, et placée au dessous d'un couvercle bombé qui, par le choc d'un obstacle résistant, est écrasé sur elle et l'enflamme. Une fusée fondée sur ce principe est encore réglementaire en Russie, pour le matériel de siège, sous le nom de fusée *Baranzow.*

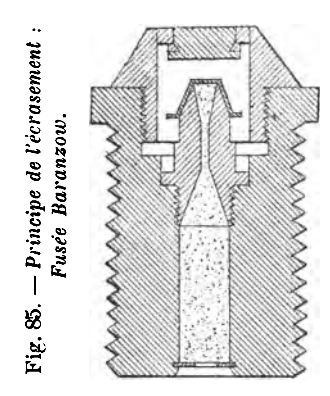
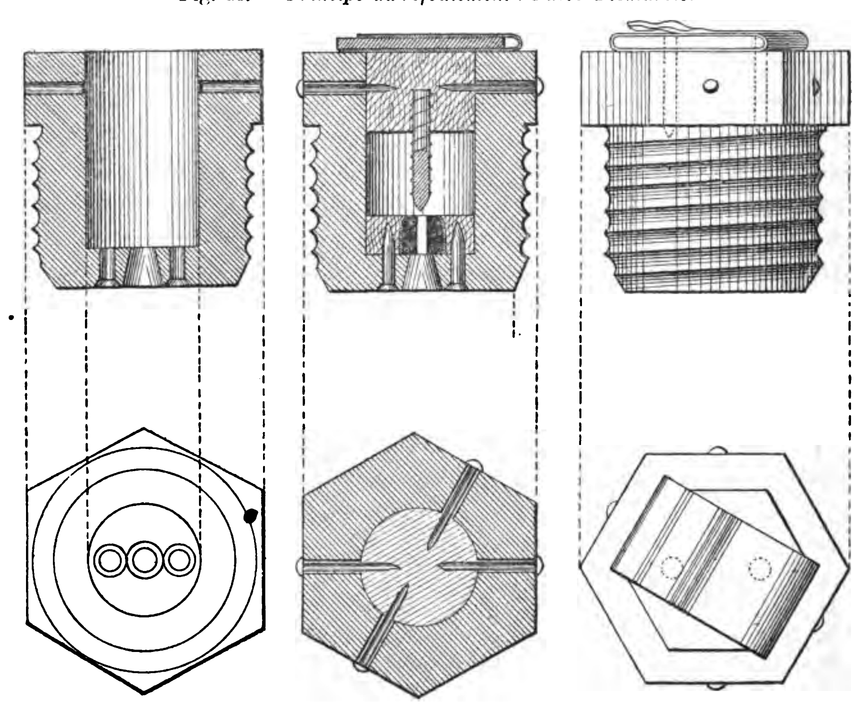


Fig. 85. — *Principe de l'écrasement : Fusée Baranzow.*

En France, le système d'artillerie de 1859 amena une fusée fondée sur le principe *du refoulement :* la fusée Desmarets, qui est une des plus simples et a été longtemps une des meilleures. Le corps de fusée, à tête hexagonale, est fermé à l'avant par un tampon en bois, maintenu par de petits clous en laiton, pour le passage desquels des trous ont été pratiqués dans

Fig. 86. — *Principe du refoulement : Fusée Desmarets.*



la tête. La tranche extérieure du tampon affleure celle du corps de fusée et est protégée contre les chocs accidentels par une rondelle de tôle qu'on enlève au moment du tir. Sur la tranche intérieure est plantée une pointe

de fer barbelée, appelée *le rugueux*. En face de la pointe se trouve la composition fulminante, placée au centre d'un disque en bois qui couvre le fond du corps de fusée et y est fixé par deux vis. Ce fond est percé d'une lumière centrale qui débouche dans l'obus. — Lorsque le projectile rencontre un obstacle, le tampon est refoulé par le choc dans l'intérieur du corps de fusée, son rugueux traverse la composition fulminante, l'enflamme, et le feu passe par la lumière dans l'intérieur de l'obus.

§ 4. — PRINCIPE DE L'INERTIE

Presque toutes les fusées construites depuis les dernières transformations de l'artillerie reposent sur le principe de l'*inertie*, dont il a déjà été question au § 2 et qui paraît seul compatible avec les grandes vitesses imprimées au projectile. Ce principe peut être formulé ainsi :

Dans un espace clos, cylindrique, communiquant avec l'intérieur du projectile, peut se mouvoir un *percuteur* dont la base *antérieure* est munie d'une aiguille, tandis que la paroi qui lui fait face renferme une capsule fulminante ; ou, inversement, c'est la base antérieure du percuteur qui renferme la capsule, et la paroi qui est munie d'une aiguille. A l'arrivée, le percuteur est précipité en avant avec une quantité de mouvement égale à

$$m(v-v'),$$

en appelant m sa masse, v la vitesse du projectile avant le choc, v' celle après le choc. Si cette quantité de mouvement est suffisante, il y aura inflammation et le projectile éclatera.

Le principe de l'inertie n'exige pas au même degré que les deux précédents que le projectile frappe par la pointe ; mais il exige un organe de plus, savoir un *système de sûreté* immobilisant le percuteur pendant les transports et les opérations du chargement. C'est surtout d'après l'organisation de ce système de sûreté et la manière dont la liberté est rendue au percuteur, que se différencient les nombreux types existants.

Pour libérer le percuteur ou, comme on dit, pour *armer* la fusée, on peut utiliser, soit l'inertie elle-même agissant au moment du départ, *voir §§ 5 et suivants*, soit la force centrifuge développée par la rotation du projectile autour de son axe, *voir § 10*.

§ 5. — ARMÉ DE LA FUSÉE PAR L'INERTIE AU DÉPART

L'armé par l'inertie au départ repose sur le mouvement relatif, dirigé en

sens inverse de celui du projectile, que toute masse libre dans le corps de fusée doit prendre forcément au départ du coup. Cette masse peut d'ailleurs être distincte du percuteur qui se meut à l'arrivée, ou n'être pas autre chose que le percuteur lui-même. Elle ne sera pas complètement libre, mais sera soutenue par une résistance calculée pour braver les chocs accidentels, et pour céder devant le choc, bien autrement violent, qui se produit lorsque le projectile passe, en moins d'un demi-centième de seconde, de l'état de repos à une vitesse voisine de 500^m.

On voit que, dans les fusées ainsi organisées, l'inertie de la matière est mise deux fois en jeu : au départ, en sens inverse du mouvement du projectile, et à l'arrivée dans le sens de ce même mouvement. C'est pour cela qu'elles sont appelées quelquefois : *fusées à double réaction.*

Comme le projectile prend dans le canon deux mouvements, l'un de translation, l'autre de rotation, on peut faire armer la fusée, soit par *l'inertie de translation*, soit par *l'inertie de rotation.* Celle-ci, dont nous donnerons un exemple au § 9, a eu très peu d'applications jusqu'ici. Mais l'inertie de translation a été exploitée par un grand nombre d'inventeurs et sous les formes les plus variées. Nous nous contenterons d'en citer deux, celle qui est la plus simple : *soutien du percuteur par des oreilles fragiles* et celle qui paraît la plus parfaite : *soutien par un manchon-masselotte.*

Dans le premier système, le percuteur est, en quelque sorte, suspendu vers le milieu de la longueur du corps de fusée, par deux oreilles encastrées dans les parois, ou par un fil de soutien traversant le tout. V_0 étant la vitesse avec laquelle le projectile est lancé hors de la bouche à feu, et m la masse du percuteur, celui-ci est, au même moment, précipité vers l'arrière avec une quantité de mouvement $m\, V_0$, qui doit être suffisante pour briser les soutiens.

C'est ainsi qu'est faite la fusée de l'artillerie de marine modèle 1870. Les oreilles sont en plomb, et le percuteur est arrêté dans son mouvement de recul par deux petits barreaux en fer traversant le corps de fusée suivant deux cordes parallèles, également distantes du centre.

Dans le second système, l'arrière du percuteur touche le fond du corps de fusée. L'avant est entouré et débordé par un manchon appuyant sur des oreilles cassantes ou sur un ressort compressible; l'ensemble des deux pièces ainsi réunies a une longueur juste égale à celle du vide du corps de fusée, de manière à n'y pas pouvoir bouger, et l'avant du percuteur est enfoncé dans le manchon d'une quantité au moins égale à la saillie de l'aiguille. Au départ, le manchon est précipité en arrière avec une quantité de mouvement égale à $\mu\, V_0$, μ désignant sa masse; la petitesse de ce facteur est compensée par la grandeur de l'autre, et la quantité de mouvement devra suffire pour vaincre les résistances.

Ce recul du manchon ramène sa tranche à hauteur du percuteur et fait disparaître le creux qui était devant l'aiguille ; en outre, les deux corps n'en font désormais plus qu'un seul, que le choc d'arrivée précipitera sur l'aiguille avec une quantité de mouvement égale à

$$(m+\mu)\,(v-v').$$

On voit que cette solution, très élégante, utilise la grandeur de V_0, ou du choc de départ, pour augmenter la masse m, et compenser ainsi l'insuffisance possible de $v - v'$, ou du choc d'arrivée. Nous en trouvons l'application dans les fusées modèle 1875 et modèle 1878 de l'artillerie française, qui sont décrites dans les deux §§ suivants.

§ 6. — FUSÉE DE CAMPAGNE MODÈLE 1875 (Fusée Budin).

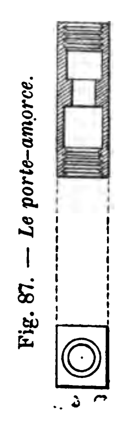


Fig. 87. — *Le porte-amorce.*

Le percuteur, ou, suivant la nomenclature officielle, le *porte-amorce*, est un prisme en laiton, à section rectangulaire ; il est percé d'un canal central dont la partie supérieure, élargie, reçoit la composition fulminante, et dont la partie inférieure, élargie également, est remplie de poudre agglutinée. Il repose sur une rondelle en carton, percée en son centre et placée au fond du corps de fusée.

Ses faces supérieure et latérales sont recouvertes par une lame en laiton, appelée *ressort d'armement*, percée d'un trou au-dessus de l'amorce, et ployée en arrondi à chacune de ses extrémités, de manière à présenter deux oreilles saillantes. Ce sont ces oreilles saillantes qui supportent la masselotte.

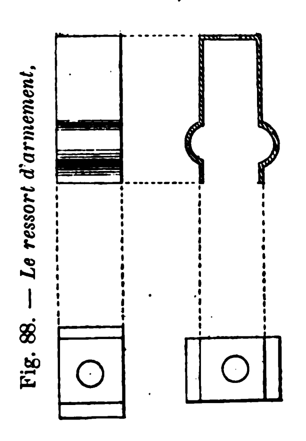


Fig. 88. — *Le ressort d'armement.*

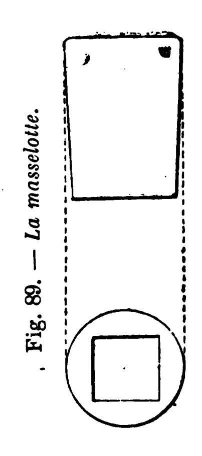


Fig. 89. — *La masselotte.*

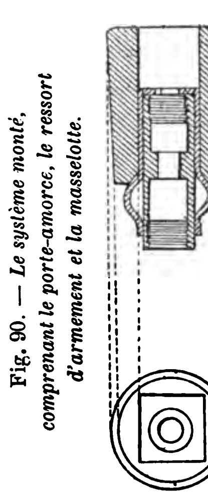


Fig. 90. — *Le système monté, comprenant le porte-amorce, le ressort d'armement et la masselotte.*

Celle-ci est carrée à l'intérieur et emboîte exactement les deux parties précédentes, qu'elle déborde de 8^{mm}. A l'extérieur, elle a la forme d'un tronc de cône dont la petite base est en bas.

Le corps de fusée (fig. 91) a son fond percé d'un trou central, fermé par une mince rondelle en laiton, sertie dans une fraisure extérieure. A l'avant,

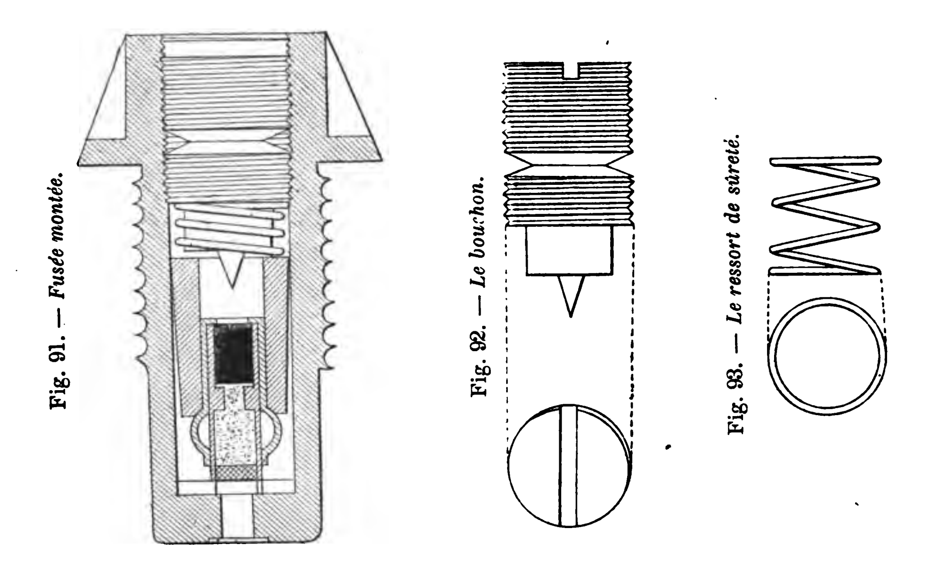


Fig. 91. — *Fusée montée.*

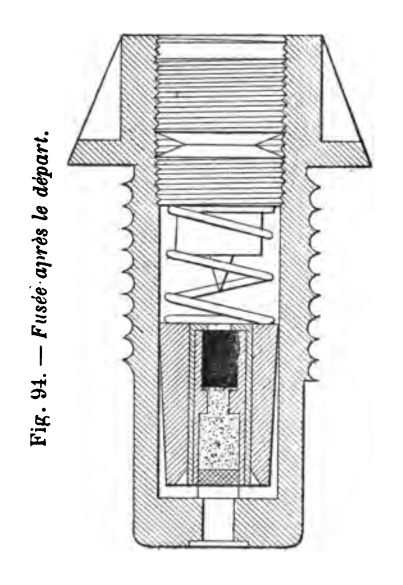
Fig. 92. — *Le bouchon.*

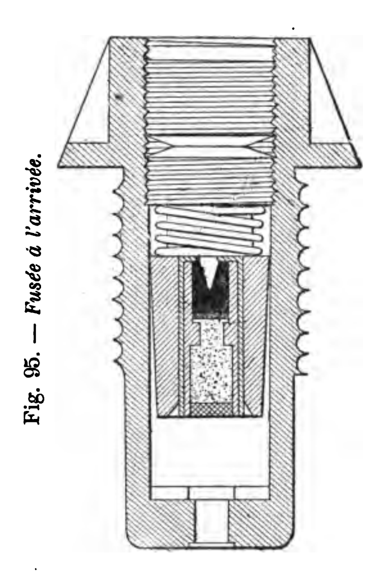
Fig. 93. — *Le ressort de sûreté.*

il est fermé par un bouchon (fig. 92) qui y est vissé, et qui est affaibli par une gorge de rupture à hauteur du méplat de l'obus, afin que si la tête de la fusée est enlevée par le choc du projectile contre les obstacles résistants, la portion inférieure ne soit pas entraînée. Celle-ci se termine par une partie lisse, de diamètre un peu plus petit, qui est entourée par un ressort spiral (fig. 93) et qui porte la pointe, de $4^{mm},5$ de long.

Le ressort spiral a pour but, ainsi que la forme tronconique donnée extérieurement à la masselotte, de s'opposer au mouvement en avant que le percuteur tend à prendre pendant le trajet du projectile dans l'air (voir le § 8).

Au départ du coup (fig. 94), la masselotte se porte en arrière, comme le voyageur dans une voiture qui part brusquement. Elle aplatit les oreilles du ressort d'armement, dont les extrémités ainsi poussées glissent sur les faces latérales du porte-amorce. Puis (fig. 95) le système fonctionne comme il a été expliqué au § précédent.


Fig. 94. — *Fusée après le départ.*


Fig. 95. — *Fusée à l'arrivée.*

Un projectile armé d'une fusée Budin peut être transporté sans danger tant qu'il n'a pas été tiré. Mais dans le cas contraire, on ne doit le manier qu'avec la plus grande précaution, et tenir la fusée en l'air : la fusée ayant été armée par le tir, un choc accidentel pourrait déterminer l'explosion de l'obus.

D'ailleurs un projectile qui a été tiré et qui n'a pas éclaté ne doit pas être transporté; il doit être brisé sur place au moyen de la dynamite.

Le type des deux fusées précédentes se retrouve dans un grand nombre d'autres fusées existantes ou en projet. Telles sont :

1° La fusée anglaise Armstrong. Elle remonte à l'année 1862, et elle a été probablement la première expression du principe de l'inertie au départ. Elle a été modifiée plusieurs fois; dans le modèle représenté ici, le manchon-masselotte est soutenu par des oreilles cassantes faisant partie intégrante du percuteur;

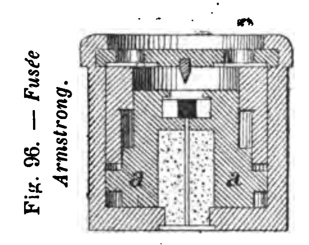


Fig. 96. — *Fusée Armstrong.*

2° La fusée autrichienne modèle 1875, dite fusée *Kreutz*; voir fig. 97. Le ressort à pince de la fusée Budin y est remplacé par un chapeau en cuivre *G*, qui coiffe le percuteur *P*, et dont le bord inférieur est formé de petites dents relevées qui supportent la masselotte *M*.

3° La fusée Krupp, représentée par la fig. 98, d'après *Mittheilungen*, *1878*.

Fig 97. — *Artillerie autrichienne.* — *Fusée percutante modèle 1875. (Éch. $^1/_1$).*

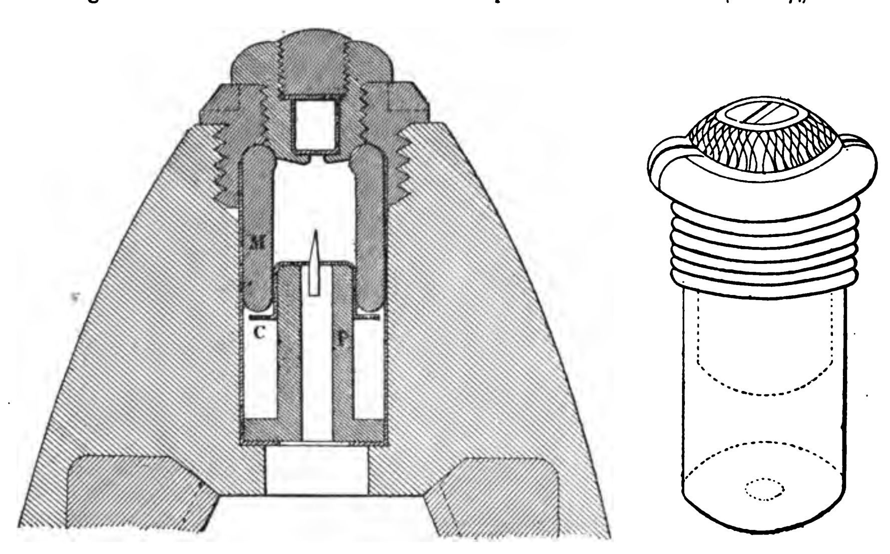
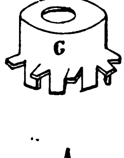


Fig. 97 *(suite).*



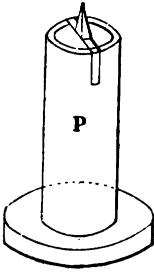
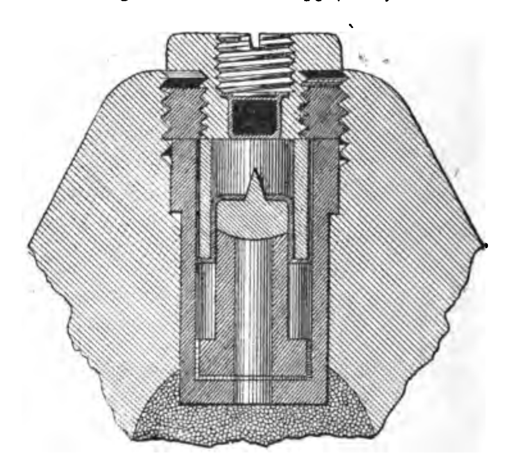


Fig. 98. — *Fusée Krupp (1878).*



§ 7. — FUSÉE DE SIÈGE ET MONTAGNE, MODÈLE 1878.

L'armé de la fusée Budin exige que la quantité de mouvement de recul de la masselotte, désignée plus haut par μV_0, soit assez considérable. Il ne se fait plus dès que la vitesse V_0 devient inférieure à 330^m. Cette fusée ne saurait donc servir pour le tir aux petites charges, et, en 1878, on en a adopté un deuxième qui convient à la fois aux plus faibles et aux plus fortes charges, parce que l'armé y comporte plusieurs positions de la masselotte sur le porte-amorce, correspondant à divers degrés de force : c'est la fusée dite *S. M. modèle 1878.*

Porte-amorce. — Le porte-amorce est un long cylindre de laiton, élargi à la base, traversé dans toute sa longueur par un canal dont le diamètre est plus grand à chaque bout. La partie antérieure sert de logement à la capsule fulminante, qui y est maintenue par la paroi légèrement ployée en dedans et affaiblie, à cet effet, au moyen de deux traits de scie perpendiculaires. La partie inférieure est remplie de poudre agglutinée, maintenue par un bouchon en cire, et mise en communication avec le logement de la capsule par un brin de mèche à étoupille traversant la partie étranglée.

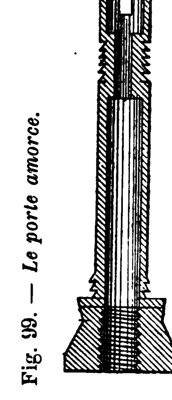


Fig. 99. — *Le porte amorce.*

L'élargissement de la base supporte un anneau en plomb renflé en son milieu, et maintenu en place par des stries qui l'empêchent de glisser. La partie qui correspond à l'étranglement du canal présente cinq autres stries formant un angle aigu dirigé vers le bas.

Autour du porte-amorce est enfilé un fort ressort en laiton, appelé le *ressort d'armement.* Son extrémité inférieure repose sur l'anneau en plomb (fig. 100), dont le sépare une petite rondelle en laiton interposée; son extrémité supérieure supporte la masselotte.

Fig. 100. *L'embase de plomb.*

Masselotte. — Celle-ci est un manchon présentant : en dedans, deux parties cylindriques, d'inégal diamètre, séparées par un renflement qui porte sur le ressort d'armement; en dehors, une partie inférieure tronconique comme dans la fusée Budin et pour le même motif, et une partie supérieure cylindrique, de diamètre plus petit. Cette dernière présente quatre fentes en croix, qui règnent sur toute sa hauteur et ont 2^{mm} 1/2 de large. Dans chaque fente, se trouve une

petite lame de laiton, qui monte de dehors en dedans, et déborde un peu la paroi intérieure de la masselotte; les quatre lames ont des longueurs inégales, et elles partent d'une couronne plate sertie extérieurement.

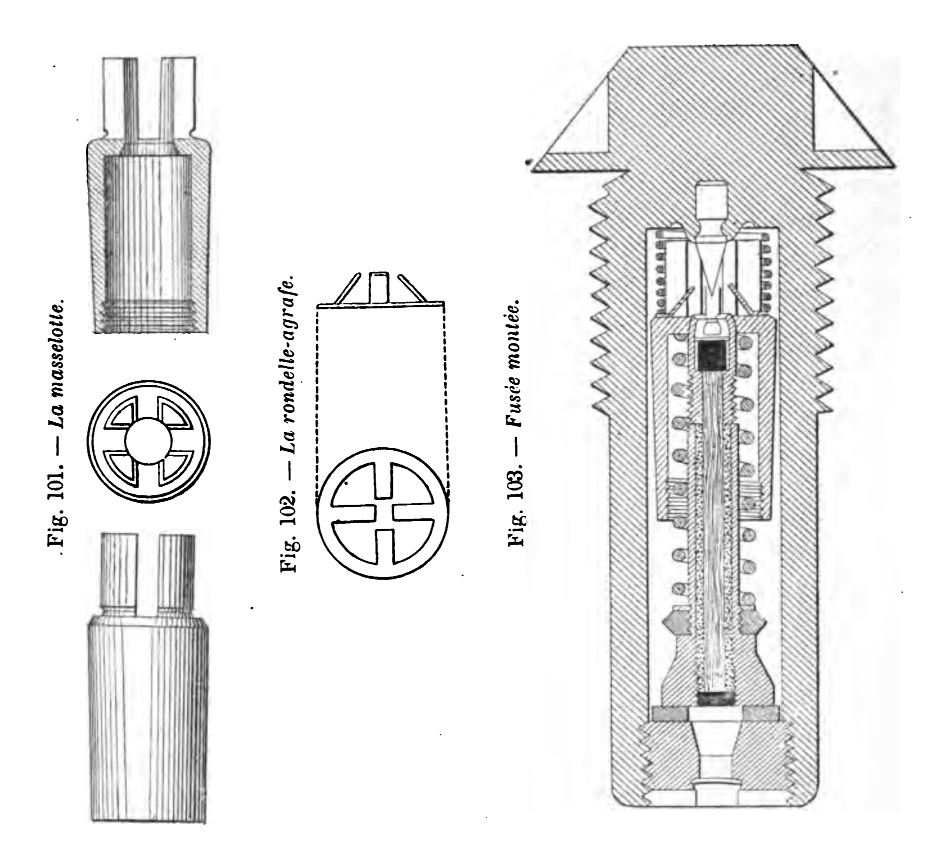


Fig. 101. — *La masselotte.*

Fig. 102. — *La rondelle-agrafe.*

Fig. 103. — *Fusée montée.*

Cet ensemble (fig. 102) s'appelle la *rondelle-agrafe*, à raison du rôle que jouent les lames dans l'armé de la fusée.

Un ressort de sûreté (voir le § suivant) entoure la partie supérieure de la masselotte et tend à l'éloigner du rugueux.

Corps de fusée. — Dans le corps de fusée (fig. 103), le tube est d'une seule pièce avec la tête, et c'est par le bout opposé qu'on met en place les organes précédents; le tube est ensuite fermé par un bouchon fileté, percé d'un trou central.

Fonctionnement. — Au départ, la masselotte est précipitée vers l'arrière en comprimant le ressort d'armement, et les quatre lames de la rondelle-agrafe glissent d'abord sur la partie cylindrique du porte-amorce. Si la charge de tir a été faible et le recul de la masselotte peu considérable, il

pourra se faire que la plus courte dépasse seulement la première strie, sous laquelle elle restera arcboutée; si le recul est plus fort, elle passera sous la deuxième strie, et ce sera la lame dont la longueur vient ensuite qui restera sous la première; pour un recul encore plus fort, il y aura trois lames engagées sous trois stries, ou bien enfin elles le seront toutes les quatre. A ce moment la partie inférieure de la masselotte est arrivée à toucher l'embase de plomb; si le recul continue, celle-ci s'y engage, se force dans une nouvelle série de stries creusées à l'entrée, et supporte à son tour l'effort du ressort d'armement.

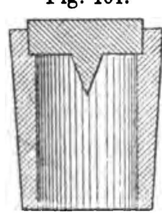
On voit ainsi, d'une part, que la fusée peut s'armer pour une charge quelconque, en comprimant son ressort d'autant plus que cette charge aura été plus forte; d'autre part que la résistance opposée au retour de la masselotte est proportionnée aussi à la compression que celui-ci aura subie.

§ 8. — ÉCLATEMENTS PRÉMATURÉS

Toute fusée est soumise à de nombreuses causes d'éclatement prématuré, qu'il importe de connaître afin de les combattre. Il en est qui sont accidentelles, et d'autres permanentes; il en est qui se présentent indifféremment avec tous les systèmes, et d'autres qui résultent spécialement du principe fondamental de la fusée.

Il est à remarquer que les éclatements qui ont lieu dans l'âme même du canon ne doivent pas être imputés à la fusée, au moins avec celles dont nous faisons usage. Ils sont de la faute du projectile, qui n'aura pas eu la solidité nécessaire pour résister au choc de départ, ou aux réactions des rayures, ou qui aura présenté des fissures permettant aux gaz de pénétrer dans son intérieur. On sait en effet, par l'observation au point de chûte, que l'éclatement ne se produit qu'à environ $1^m,50$ au delà de ce point, et, par suite, que le temps nécessaire au fonctionnement de la fusée est plus considérable que celui nécessaire au projectile pour parcourir la longueur de l'âme. D'ailleurs cette conséquence a été vérifiée directement : on a muni la masselotte d'une fusée Budin d'une pointe (fig. 104) qui touchait presque l'amorce et devait l'enflammer dès que le projectile commencerait à se déplacer, et on a constaté que l'éclatement avait lieu à quelques mètres en avant du canon.

Fig. 104.



Nous nous contenterons de mentionner quelques causes d'éclatement prématuré, telles que :

Défauts de jointure communiquant le feu du canon à la composition fulminante;

Isolement insuffisant de cette composition d'avec les organes voisins; parcelles répandues dans le corps de fusée;

Réaction élastique du fond de la fusée, projetant jusqu'à la composition le percuteur aussitôt qu'il est armé; c'est pour amortir le choc et empêcher le rebondissement du percuteur qu'une rondelle de carton est interposée entre lui et le fond;

Ralentissement brusque infligé au projectile par un coincement dans le canon, ou une avarie des cloisons, ou la présence d'un corps étranger dans l'âme, ou d'autres résistances anormales;

Changement de direction dans l'air par suite de départ de la ceinture ou d'une portion de la chemise de plomb;

...Etc. Mais il est une dernière cause sur laquelle nous nous arrêterons un peu plus, parce qu'elle est une conséquence forcée du principe de l'inertie, et présente au plus haut degré le caractère de permanence.

Si la résistance de l'air n'existait pas, le centre de gravité du projectile et celui du percuteur décriraient deux paraboles égales, et conserveraient la même position relative. La résistance de l'air, en agissant sur le projectile, a pour effet de diminuer à chaque instant sa vitesse horizontale, que la pesanteur toute seule laisserait constante, et en outre d'abaisser son centre de gravité au-dessous de la ligne de projection plus encore que ne le fait la pesanteur toute seule.

Le percuteur, renfermé dans un espace clos, est soustrait à cette influence : il ne connaît que celle de la pesanteur, et il tend à conserver le mouvement qu'il aurait dans le vide. A un observateur qui serait enfermé et emporté dans le projectile sans en avoir conscience, il paraîtrait donc sollicité par une force ayant sa composante horizontale dirigée de la pièce vers le but, et sa composante verticale dirigée de bas en haut. Nous pouvons remplacer ces composantes par deux autres, l'une, F, suivant l'axe de la fusée et dirigée de l'arrière vers l'avant, l'autre, N, perpendiculaire à la paroi du corps de fusée, et donnant naissance à une force fN, dirigée de l'avant vers l'arrière. Si celle-ci est moindre que F, le percuteur marchera vers la tête de la fusée, et fera éclater l'obus quand il y arrivera.

Ce danger sera conjuré en ajoutant au frottement fN, d'autres forces agissant dans le même sens. Tel est l'objet, dans les fusées modèle 1875 et 1878, du ressort, dit de sûreté, placé en avant de la masselotte; tel est encore

l'objet de la forme tronconique donnée à cette masselotte, car le roulement d'un cylindre creux (ou d'un plan) sur un cône libre a pour résultat de faire marcher celui-ci vers sa pointe.

§ 9. — ARMÉ DE LA FUSÉE PAR L'INERTIE DE ROTATION

Nous donnerons comme type de ce système la fusée *Kernaul*, décrite dans la livraison de novembre 1879 de la *Revue d'Artillerie*, et que l'artillerie allemande voudrait substituer, dit-on, à la fusée à goupille décrite dans le § suivant.

Le percuteur *a*, au moyen d'une queue filetée *d*, est vissé au culot de la

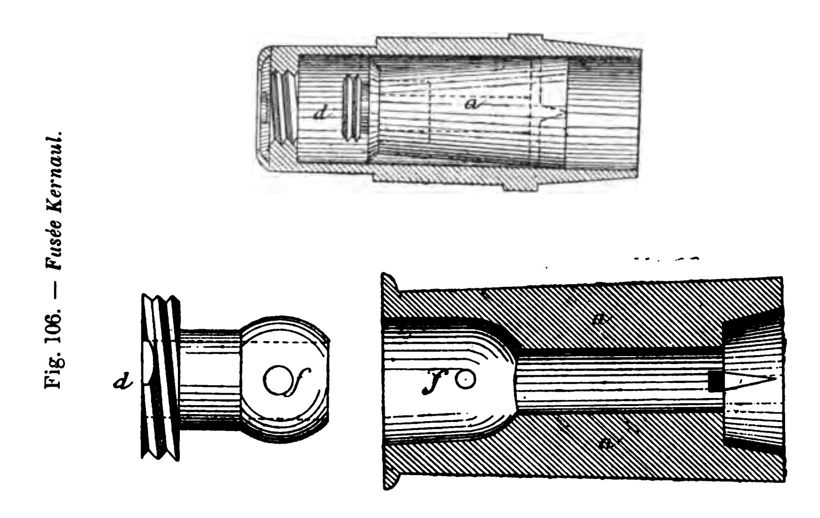


Fig. 106. — *Fusée Kernaul.*

fusée dans un écrou dont le pas est très allongé, et dirigé en sens inverse de celui des rayures. Au moment du tir, l'inertie le dévisse peu à peu, et il devient libre après que le projectile a fait une dizaine de tours.

La queue *d* qui porte la vis n'est pas d'une seule pièce avec la masse principale du percuteur. Elle est liée avec celle-ci par une goupille *f* qui a dans son trou un jeu considérable, permettant à cette masse de petits ballottements longitudinaux, sans lesquels elle ferait obstacle au dévissage.

Le projectile est posé dans le coffre sur le culot. Si, par suite d'une circonstance quelconque, la pièce *d* s'était un peu dévissée, les trépidations de la marche la feraient redescendre peu à peu dans son écrou, puisque le pas est très allongé.

Aucune manipulation préalable n'est nécessaire au moment du tir.

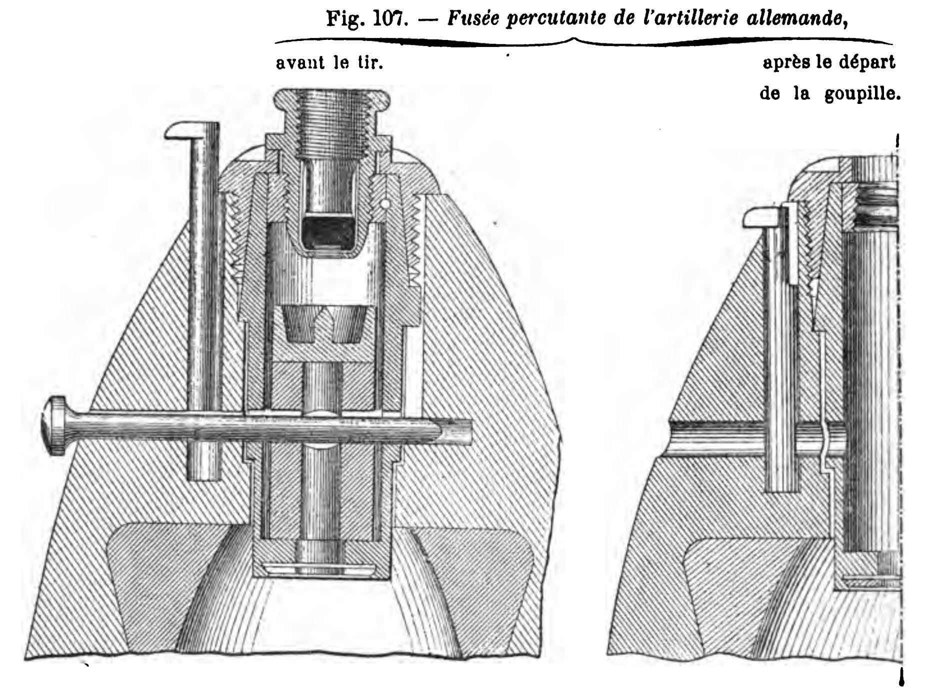
§ 10. — ARMÉ DE LA FUSÉE PAR LA FORCE CENTRIFUGE

Sous des formes assez variées, ce dernier principe a été, et est encore, très en faveur dans les artilleries allemande, russe.... etc.

Le percuteur y est assujetti par une goupille située dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'obus, et traversant à la fois l'ogive de celui-ci, le corps de fusée et le percuteur. Cette goupille est terminée extérieurement par une tête massive, qui doit, bien entendu, rester en dedans du cylindre circonscrit au projectile. Une fois le projectile en mouvement, elle est chassée par la force centrifuge, et va tomber à une cinquantaine de mètres en avant de la bouche à feu, à droite ou à gauche du plan de tir, suivant l'orientation qu'avait au moment de la séparation le plan méridien qui la renferme.

Fig. 107. — *Fusée percutante de l'artillerie allemande,*

avant le tir. — après le départ de la goupille.



La figure 107 représente la fusée actuelle de l'artillerie allemande.

C'est le percuteur qui porte l'aiguille. Il est percé d'un canal central pour le passage des gaz emflammés fournis par la composition fulminante. Sur la base antérieure, ce canal présente un évasement, en forme de calice, dans lequel se trouve l'aiguille. Celle-ci a été découpée à l'emporte-pièce

savoir que dans la figure de droite, on n'a représenté que le corps de fusée; comme [illegible] les organes intérieurs [illegible] en [illegible].

dans une plaque de maillechort trempé, et elle est maintenue au moyen de deux oreilles poussées dans un trait de scie pratiqué dans la paroi du calice.

La composition fulminante est renfermée dans une vis creuse qui ferme par en haut le corps de fusée. Le fond intérieur de cette vis est percé d'un trou pour le passage de l'aiguille, et son ouverture extérieure est fermée par un bouchon à vis, qui maintient la capsule.

Cette vis creuse et la goupille ne sont mises en place qu'au moment du tir : c'est une garantie de sécurité, mais une infériorité au point de vue tactique. Pour faciliter l'introduction de la goupille, le percuteur est percé de deux trous en croix, placés à la même hauteur, et s'évasant à l'extérieur de manière que leurs bords arrivent presque à se toucher. De cette façon, la goupille trouve son entrée quelle que soit la position du percuteur dans l'œil de l'obus. Elle le traverse entièrement, et pénètre de quelques millimètres dans la paroi opposée de l'œil.

Sous sa forme primitive, cette fusée donnait un assez grand nombre de ratés, dûs à la terre qui, lorsque l'obus s'enfonce dans le sol, pénètre dans le trou laissé vide par le départ de la goupille. C'est pour obvier à ce défaut qu'a été pratiqué dans l'ogive, parallèlement à l'axe de l'obus, un canal cylindrique traversant le trou en question ; il reçoit un petit cylindre de fer qui butte contre la goupille tant qu'elle est en place, s'enfonce davantage une fois qu'elle est partie, et intercepte le canal transversal (voir la fig. 107, à droite).

CHAPITRE SIXIÈME

FUSÉES A DURÉE ET FUSÉES MIXTES

§ 1er. — LA COMPOSITION FUSANTE

Le moyen le plus simple pour obtenir l'éclatement du projectile au bout d'un temps déterminé, qui ne doit guère dépasser une demi-minute, consiste dans l'emploi d'une composition à combustion lente, tassée dans un canal, s'enflammant par un bout quand le projecticle part, brûlant petit à petit, enfin communiquant elle-même le feu à la charge d'éclatement renfermée dans le projectile. Cette composition n'est autre que le pulvérin, amené par la compression sous la forme d'une masse compacte très dense. Elle brûle régulièrement, par couches successives, avec une vitesse d'environ un centimètre par seconde, en produisant un sifflement particulier. Quand on la regarde dans cet état, elle paraît être en fusion : c'est peut être pour cela qu'on dit qu'elle *fuse*, et qu'on a donné le nom de *fusée* à l'organe qui la renferme, nom qui aurait été étendu plus tard à l'organe d'éclatement, quel qu'en soit le principe [1].

Il importe beaucoup que la vitesse de combustion soit uniforme, et, pour cela, que le degré de compression soit le même dans toutes ses parties. Cette compression peut se faire à la main, à la presse, ou par étirage. Le troisième procédé, qui paraît être celui donnant le plus d'homogénéité, consiste à introduire la matière dans un tube en plomb qu'on ferme aux deux bouts, et qu'on fait passer dans les trous de plus en plus petits d'une filière, jusqu'à ce qu'il ait subi une diminution de volume correspondant à la densité voulue.

---

1. Ce mot, que l'artillerie anglaise emploie aussi (*the fuze*), est de création récente. La fusée s'appelait auparavant *espolette*, nom qu'elle a conservé dans la langue italienne (*la Spoletta*). — Les Allemands disent *der Zünder (Sprengzünder*, fusée percutante; *Zeitzünder*, fusée à durée).

On peut diminuer la vitesse de combustion, soit en ajoutant du soufre, soit en augmentant la densité; mais, du même coup, on en diminue la régularité. Il suit de là que, lorsqu'on a besoin d'une grande durée, on doit d'abord chercher à l'obtenir en augmentant la longueur de colonne à brûler et ce n'est que si on n'en trouve pas le moyen qu'on aura recours à une composition plus lente.

Avec la composition habituellement employée, on peut prendre environ 0s,05 (cinq centièmes de seconde) pour l'écart moyen[1] de la durée. Ce chiffre résulte de diverses déterminations faites en France, en Italie, en Allemagne... etc. Nous citerons, par ex., les résultats suivants[2] obtenus en 1878 avec la fusée Krupp, décrite ci-après (§ 5).

DURÉE MOYENNE	ÉCART			ÉCART MOYEN GÉNÉRAL
	MOYEN	MAXIMUM	MINIMUM	
0s 66	0s 045	0s 09	0s »»	0s 046
2 09	0 047	0 09	0 01	
4 06	0 033	0 06	0 01	
5 96	0 045	0 09	0 02	
7 79	0 046	0 09	0 02	
9 71	0 048	0 13	0 01	

On trouvera plus loin (chap. IX, § 4) une importante application de cette donnée.

§ 2. — MISE DU FEU

Avec les canons se chargeant par la bouche, la mise du feu est produite par les gaz enflammés qui entourent le projectile de toutes parts. C'est

1. Voir au chapitre VII la signification de ce mot : *écart moyen.*

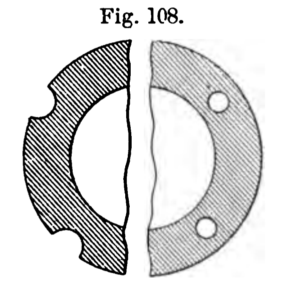
2. D'après *Mittheilungen über Gegenstände, etc.* 1878. Notizen, p. 133.

seulement au milieu du dix-septième siècle qu'on s'est aperçu que cela suffisait; auparavant, on commençait par allumer une mèche d'amorce placée à la tête de la fusée, puis on mettait le feu à celle du canon ; il arrivait alors que si celle-ci ratait, la bombe éclatait dans l'âme.

Avec les canons où le vent est supprimé, une partie des gaz qui suivent le projectile le dépasse à sa sortie, et *assez souvent, mais pas toujours*, enflamme encore la composition. On a essayé les dispositifs suivants pour obtenir ce résultat avec certitude :

1° Ménager sur la surface du projectile des rainures longitudinales assez profondes pour permettre le passage des gaz, ou dans l'épaisseur de sa paroi des canaux partant du culot et débouchant sur l'ogive; — des deux façons, on affaiblirait par trop cette paroi, dont l'épaisseur doit être réduite au minimum.

Fig. 108.



2° Approfondir quelques-unes des rayures sur une certaine longueur de l'âme à partir de la bouche. Des expériences faites à Gavre en 1874 sur un canon de 14ᶜ modèle 1870, montrèrent qu'en approfondissant de 3^{mm} trois des 14 rayures sur une longueur de 0^{m}, 50, et en enroulant une mèche d'amorce autour de la tête de la fusée, on obtenait l'inflammation à chaque coup, et cela sans rien perdre sur la vitesse initiale du projectile.

3° Au lieu de loger la fusée à la pointe du projectile, la visser dans le culot. Non seulement la mise du feu serait ainsi assurée de la manière la plus efficace, mais encore la fusée ne serait pas exposée à être étouffée par le fait de la pénétration du projectile dans la terre ou un milieu solide; en outre la pointe du projectile serait conservée intacte, et on pourrait donner à l'ogive la forme et le degré de dureté que l'on voudrait. Ces considérations ont assez de poids pour donner envie de mettre au culot les fusées percutantes elles-mêmes. Mais les essais, peu nombreux d'ailleurs, qui ont été faits dans cette direction, n'ont pas abouti : il arrive, ou que la composition fusante est brisée par le choc, ou que la fusée est renfoncée dans le culot, ou que les gaz s'infiltrent entre le corps de fusée et son écrou jusqu'à la charge d'éclatement de l'obus, ou enfin que la fusée s'éteint dans l'air, probablement par le vide qui se forme en arrière du projectile lorsque celui-ci est animé d'une grande vitesse.

Le seul moyen employé jusqu'ici est un appareil percutant, organisé comme il est dit dans le chapitre précédent, mais disposé d'une manière inverse, c'est-à-dire que le percuteur est *à l'avant*, muni d'une aiguille faisant saillie sur sa base *postérieure*, en face de laquelle se trouve la capsule

fulminante. L'appareil ainsi diposé a reçu le nom de *concuteur*. Si la composition est dans un canal rectiligne (voir le § suivant), le concuteur à sa place naturelle au-dessus, comme on le voit dans la figure 110. Si la composition est contournée suivant une courbe circulaire ou hélicoïdale (§§ 5 et 6), on mettra le concuteur dans une chambre centrale, et il y aura lieu d'étudier le mode de communication de celle-ci avec la composition.

§ 3. FUSÈES DONT LE RÉGLAGE NE PEUT SE FAIRE QU'AVANT LEUR RÉUNION AU PROJECTILE

Les anciennes fusées sont en bois, et on s'en sert toujours pour les bombes sphériques. L'extérieur (voir fig. 110) est légèrement tronconique, afin de faciliter l'introduction dans l'œil. Le canal fusant est creusé suivant l'axe, mais ne le traverse pas de part en part : on laisse au bout intérieur, pour soutenir la composition, une épaisseur d'environ un centimètre, appelée le *massif*.

A l'autre bout, la composition commence par une partie qui est tassée moins fortement, et dans laquelle plongent quelques brins de mèche à étoupille : cette partie, appelée l'*amorce*, est recouverte d'un coiffage qu'on enlève au moment du tir. Avant d'enfoncer la fusée dans l'œil de la bombe et lorsque la distance du but est désignée, on perce un trou de vrille à une distance convenable de la tête, et, pour propager la flamme dans l'intérieur de la bombe aussitôt qu'elle sera arrivée à sa hauteur, on y introduit un brin de mèche à étoupille.

Une graduation en demi-secondes, tracée extérieurement, facilite ce réglage.

La grenade, petit obus sphérique qui se lance à la main et s'emploie quelquefois dans la guerre de siège, est munie d'une fusée en bois ayant la même forme extérieure que les précédentes, mais ne comportant qu'une seule durée. La tête de la fusée présente une cavité nommée le *calice*, dans laquelle est fixé un tube d'amorce analogue à celui de l'étoupille à friction; une boucle en ficelle est passée dans l'anneau du rugueux et s'accroche, quand on veut lancer la grenade, à un crochet attaché au poignet du soldat par une corde et un bracelet de cuir.

L'artillerie anglaise est la seule qui ait conservé ce système avec les bouches à feu rayées ; elle n'en emploie pas d'autre pour les obus à balles, même dans le matériel de campagne, seulement elle y a fait les améliorations sui-

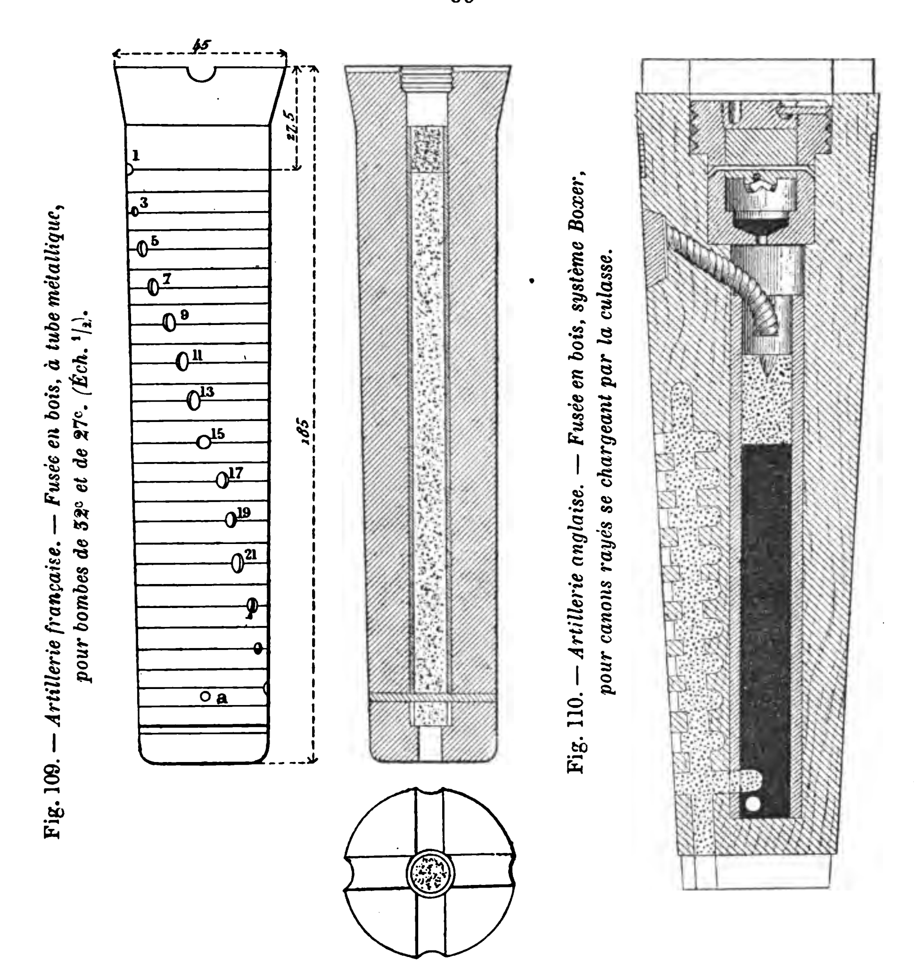


Fig. 109. — *Artillerie française. — Fusée en bois, à tube métallique, pour bombes de 32c et de 27c. (Éch. 1/2).*

Fig. 110. — *Artillerie anglaise. — Fusée en bois, système Boxer, pour canons rayés se chargeant par la culasse.*

vantes (voir fig. 111) : 1° Un tampon est placé à l'orifice du canal fusant pour empêcher l'extinction par la pression de l'air pendant le trajet ou par l'introduction de la terre à l'arrivée, et c'est par un trou latéral que sortent les gaz de la combustion ; 2° Un tube en carton est interposé entre la composition et le bois, et empêche l'inflammation de se propager prématurément par les vides résultant du travail du bois ; 3° La fusée n'étant en communication avec l'intérieur de l'obus que par son extrémité, et non plus par la presque totalité de sa surface tronconique, la transmission du feu a exigé un dispositif un peu moins simple. Parallèlement au canal fusant, se trouvent deux canaux latéraux, remplis de poudre ordinaire, débouchant sur l'extrémité intérieure du corps de fusée ; le long de chacun d'eux on a amorcé d'avance une série de trous de réglage, obturés ensuite avec de la terre de pipe ; sur l'un des canaux, sont alignées les durées exprimées par un nombre entier

de secondes, et sur l'autre celles exprimées par un nombre entier augmenté d'une demi-seconde.

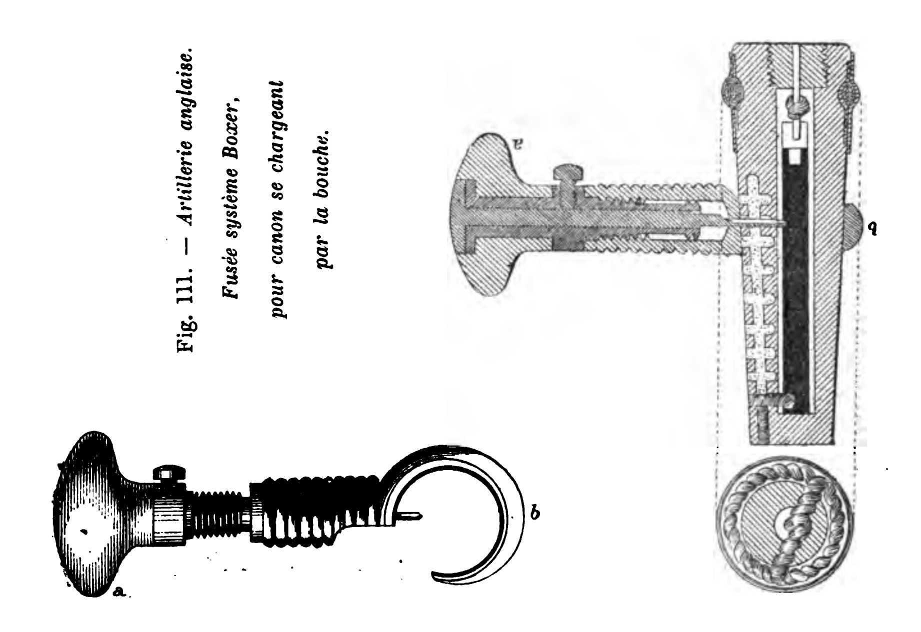


Fig. 111. — *Artillerie anglaise. Fusée système Boxer, pour canon se chargeant par la bouche.*

Le trou se perce au moyen d'une gouge dont les figures expliquent suffisamment le mécanisme. Cette opération une fois faite, on introduit la fusée dans l'œil de l'obus; le tout exige environ 15 secondes.

§ 4. — DISPOSITIONS PERMETTANT DE LAISSER LA FUSÉE A DEMEURE SUR LE PROJECTILE

Une modification très simple, faite au système précédent, semblerait permettre de faire le réglage et même de le modifier à volonté, sans séparer la fusée du projectile. Nous le trouvons dans une fusée proposée en 1852 par le lieutenant de Reffye, et dans la fusée Schenckel qui a été employée aux Etats-Unis (fig. 112). Les trous de réglage, percés cette fois jusqu'à l'âme, sont disposés sur une hélice faisant un peu moins d'un tour complet pour la longueur totale de la fusée. Celle-ci est logée dans un tube métallique, où elle s'adapte exactement; c'est ce tube qui est vissé dans l'œil de l'obus, et il est lui-même percé d'une série de trous disposée en sens inverse de la

précédente. On voit qu'en faisant tourner le corps de fusée on amène successivement un de ses trous devant un de ceux du tube, tandis que tous les autres sont en face d'une partie pleine. Il y a donc un certain nombre de positions, égal à celui des trous, pour lesquelles la flamme pourra passer dans le projectile; une graduation extérieure gravée sur la tranche du tube et un index sur le corps de fusée, font connaître ces diverses positions et les durées correspondantes. Mais comme le corps de fusée doit avoir dans le tube un certain jeu pour permettre le réglage, les trous autres que celui mis directement en communication avec l'intérieur du projectile ne sont pas suffisamment bouchés, et il se produit des infiltrations causant des éclatements prématurés.

Fig. 112. — *Fusée Schenckel* (États-Unis).

Fig. 113.
Fusée à quatre canaux.

En France, le système d'artillerie de 1859 nous présente deux autres types de fusées pouvant être fixées d'avance au projectile.

Dans l'un (fig. 113), plusieurs canaux parallèles et indépendants renfermant des longueurs différentes de compositions tassée, sont réunis en un même corps de fusée; chacun d'eux débouche latéralement sur la tête de la fusée, où il est recouvert par une rondelle de cuir, et on ouvre avec un poinçon celui qui se rapproche le plus de la durée voulue.

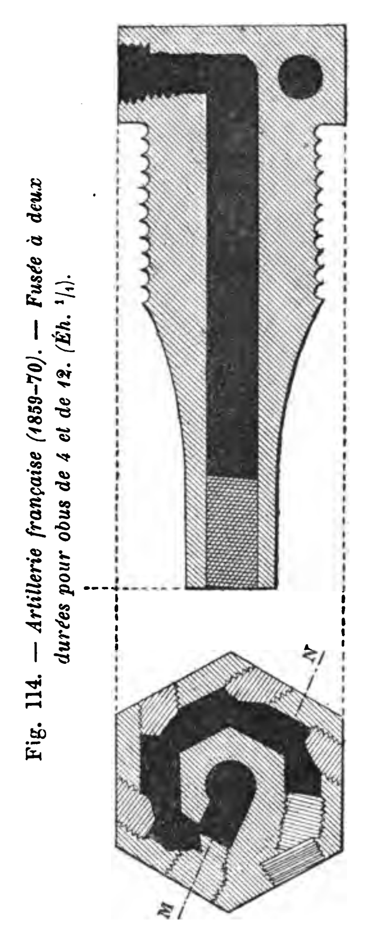


Fig. 114. — *Artillerie française (1859-70).* — *Fusée à deux durées pour obus de 4 et de 12. (Éh. 1/1).*

Dans le second modèle (fig. 114), il n'existe qu'un seul canal, mais composé de deux parties, l'une dans l'axe de la fusée et à l'intérieur du projectile, l'autre, contournant la tête, qui est hexagonale; des évents latéraux, ménagés sur les côtés de l'hexagone et fermés comme dans le cas précédent, permettent d'obtenir autant de durées différentes.

On voit que, dans ce cas comme dans l'autre, le nombre de ces durées est forcément très restreint; mais, jusqu'en 1870, on s'est contenté de deux, quatre ou six durées au plus. Encore ce dernier nombre ne se trouvait-il que dans la *fusée d'obus à balles de 24* (fig. 115), dont la tête est *à deux étages*, et où les *deux* principes précédents sont appliqués l'un et l'autre.

On n'a pu multiplier les durées et régler avec précision la distance de l'éclatement, que lorsqu'on eut trouvé des dispositifs permettant de ramener la composition tout entière en dehors du projectile, de manière à la rendre accessible en tous ses points, ainsi qu'il va être expliqué dans les paragraphes suivants.

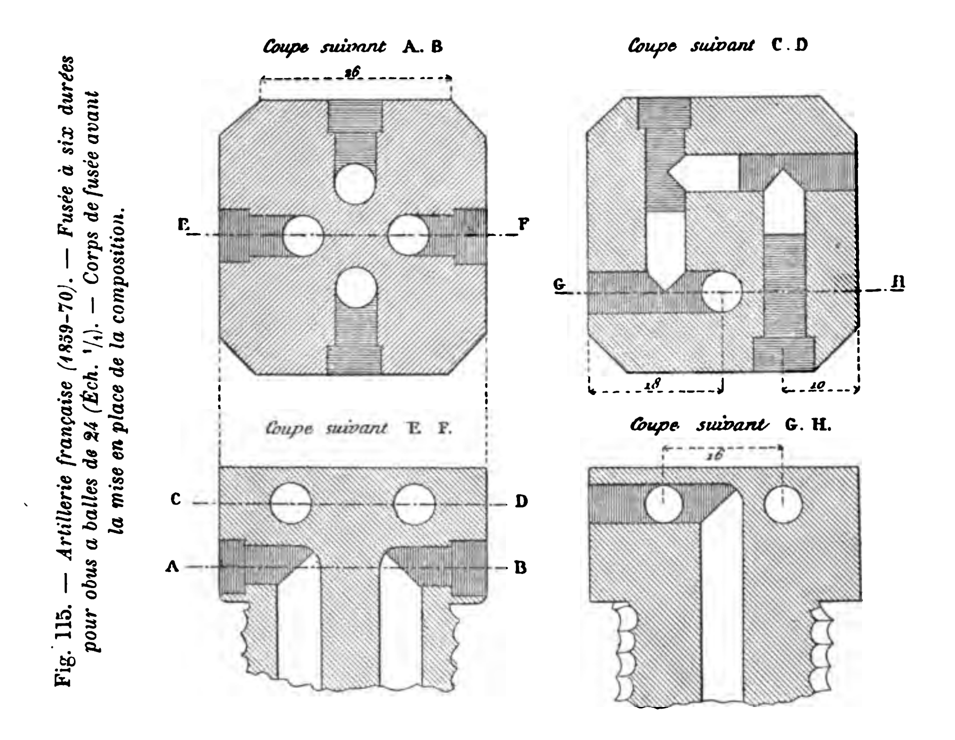


Fig. 115. — *Artillerie française (1859-70). — Fusée à six durées pour obus à balles de 24 (Éch. 1/1). — Corps de fusée avant la mise en place de la composition.*

§ 5. — FUSÉES A RÉGLAGE CONTINU

I. — Fusée Bormann.

Les fusées à réglage continu dérivent de la fusée belge Bormann, qui remonte à l'année 1835. C'est tout simplement un disque métallique, qu'on mastique avec du plâtre dans l'œil du projectile. Sur sa face extérieure est creusé un canal circulaire, faisant *presque, mais pas tout à fait*, un tour complet. Ses deux extrémités sont séparées par une partie pleine qu'on appelle encore le *massif* (voir § 3) ; une d'elles, A, communique par un conduit oblique avec une chambre creusée dans la face intérieure et remplie de poudre, que maintient une mince rondelle collée ou sertie. Le canal circulaire est rempli de composition fusante, et recouvert par une feuille de plomb le fermant hermétiquement ; sur celle-ci est gravée une graduation dont le

zéro correspond à l'extrémité A, et qui, en un point quelconque M (fig. 118), donne la valeur $t=\frac{AM}{v}$, v désignant la vitesse de combustion. Une fois con-

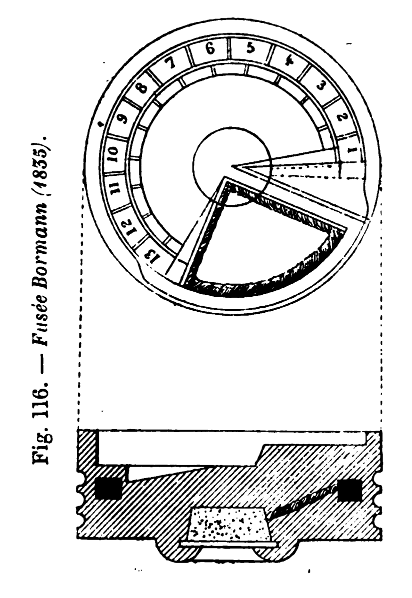


Fig. 116. — *Fusée Bormann (1835).*

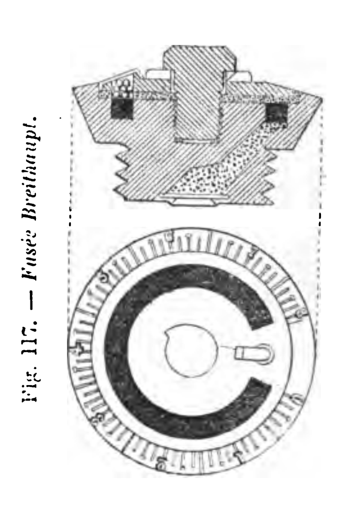
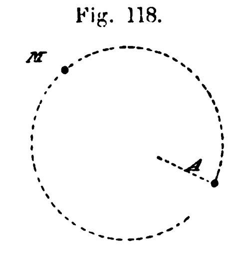


Fig. 117. — *Fusée Breithaupt.*

Fig. 118.



nues la position du but et le temps que le projectile doit mettre pour y arriver, on perce le plomb avec un poinçon sur le trait correspondant, et on y introduit comme amorce un brin de mèche à étoupille, conservé à cet effet dans un évidement central du disque. Au départ du projectile, le feu se met en cet endroit; la combustion se propage par tranches méridiennes dans les deux sens, et, dès qu'elle est arrivée à l'extrémité A, la flamme passe dans la chambre inférieure, puis dans le projectile.

II. — Fusée Breithaupt et ses dérivées.

Ce n'est que quelques années plus tard qu'un officier de l'artillerie hanovrienne, nommé *Siemens*, eut l'idée de fileter l'œil du projectile et d'y visser la fusée.

Mais un perfectionnement beaucoup plus important fut apporté à ce dispositif en 1853 par un officier hessois, nommé *Breithaupt*, dont le nom revient souvent depuis dans l'histoire des fusées. Le trou que Bormann per-

çait dans la lame de plomb avait l'inconvénient de ne comporter qu'une précision médiocre, et, une fois fait, de rendre le projectile impropre à servir pour une distance plus grande.

Breithaupt eut l'idée de rendre mobile cette paroi supérieure en la formant d'un anneau pouvant tourner autour d'une tige centrale. Cet anneau (fig. 117), dont la face intérieure est plane et s'applique exactement sur le plateau du corps de fusée, possède quelque part, sur son pourtour, une petite cavité remplie de mèche à étoupille et ayant deux ouvertures, l'une sur la face inférieure de l'anneau au-dessus du canal fusant, l'autre latérale, à laquelle le feu sera mis par les gaz du canon, si celui-ci se charge par la bouche. C'est cette petite cavité, appelée le *trou d'amorce*, qu'il faut amener au-dessus du point M où la combustion doit commencer.

Quant à la tige centrale, elle se termine, d'un côté, par un pas de vis reçu dans un écrou creusé dans le corps de fusée au centre du canal circulaire, de l'autre par une large tête recouvrant l'anneau et pouvant le serrer fortement. Afin de rendre le serrage efficace, et de prévenir toute infiltration de la flamme entre le corps de fusée et la face inférieure de l'anneau, celle-ci est recouverte de drap ou de feutre. En outre, pour que la composition fusante ne prenne pas d'humidité pendant les périodes de desserrage, on recouvre le dessus du corps de fusée d'une couche de vernis, ou de collodion, ou de stéarine, ou de paraffine, ou d'une feuille d'étain ou de clinquant, toutes substances imperméables à l'humidité, mais non à un jet de flamme.

Enfin la graduation est reportée sur le pourtour de l'anneau, son zéro se trouvant dans le plan méridien qui contient le trou d'amorce; et un index est gravé sur le pourtour du corps de fusée, dans le plan méridien passant par l'extrémité A du canal. On amènera au-dessus de cet index le chiffre de la graduation marquant la durée voulue.

Si la fusée est destinée à un canon se chargeant par la culasse, c'est dans la vis de serrage que sera logé l'appareil concutant décrit § 2. Nous citerons comme exemple la fusée Rubin et Fornerod que l'artillerie suisse expérimente en vue de l'adopter, et qui, parmi les diverses fusées à anneau, paraît être la plus perfectionnée. Du fond de la chambre à concussion, partent quatre évents en croix qui vont déboucher dans une gorge creusée tout autour de la tige de la vis; d'autre part, le trou d'amorce de l'anneau tournant, au lieu de s'ouvrir extérieurement, s'ouvre sur la paroi interne, à hauteur de cette gorge, sans perdre toutefois le premier débouché, qu'il est nécessaire de conserver pour donner une issue aux produits de la combustion. Au départ du projectile, la flamme provenant de la capsule fulminante sort par les évents et se répand dans la gorge, entourant la tige cen-

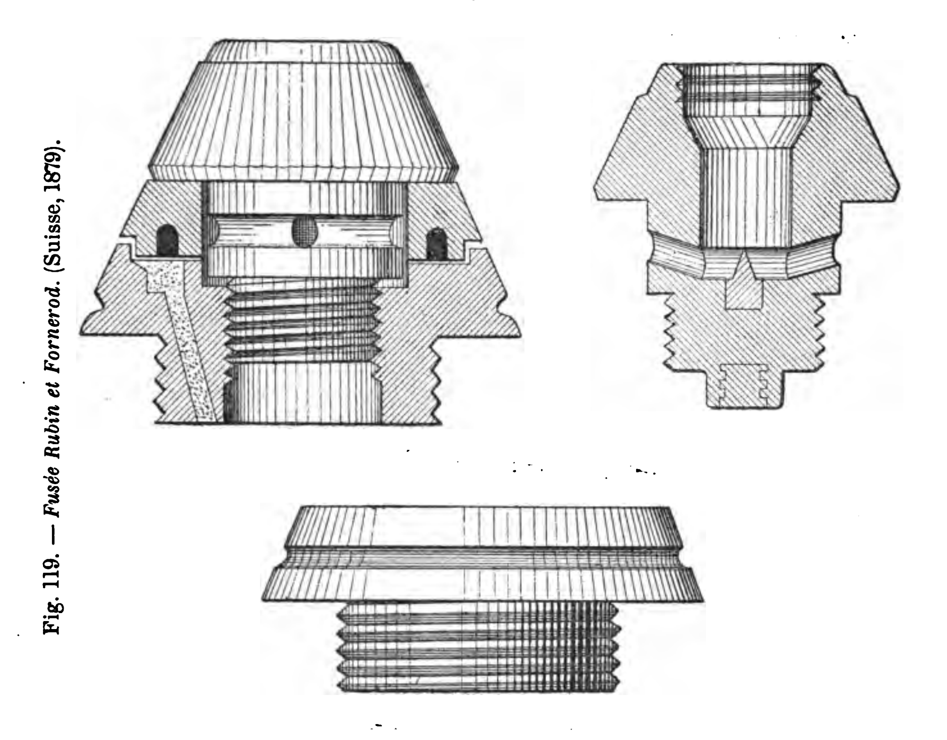
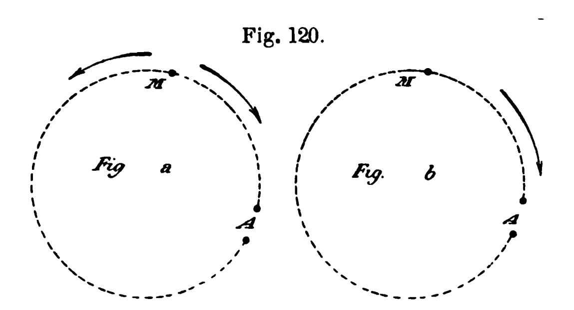


Fig. 119. — *Fusée Rubin et Fornerod.* (Suisse, 1879).

trale comme une cravate de feu. Quel que soit le plan méridien dans lequel se trouve le trou d'amorce, il ne peut manquer de prendre le feu, qui passera de suite au point M du canal fusant, puis arrivera en A au bout du temps $t = \frac{AM}{v}$.

On a déjà remarqué plus haut que la combustion se propage aussi dans l'autre sens. Or les gaz qui viennent des deux directions opposées n'ont

Fig. 120.



(fig. a) qu'un orifice de sortie qui est le point M; il en résulte des chocs et des remous qu'on a supposé pouvoir être nuisibles à la régularité de la combustion. Pour les éviter, il faudrait, au lieu de mettre en communica-

tion avec l'obus l'*extrémité* A de la composition et de faire commencer la combustion en un point *variable* M, faire commencer celle-ci à l'extrémité fixe A (fig. b) et mettre le point variable M en communication avec l'obus ; les choses se passeraient alors comme dans les fusées à canal rectiligne du § 3.

Il n'est pas impossible d'obtenir ce résultat en laissant la composition dans le corps de fusée, et nous rencontrons cette solution dans une fusée anglaise modèle 1862. Mais on a trouvé plus simple de transporter le canal dans la face inférieure de l'anneau tournant, l'une des extrémités partant du trou d'amorce; sur le corps de fusée, il n'y a plus alors qu'un orifice situé à une distance de l'axe égale au rayon moyen du canal, et communiquant avec la poudre renfermée au-dessous.

C'est ainsi que les choses sont disposées dans la fusée représentée fig. 119. Bien entendu, c'est alors sur le corps de fusée qu'est collée la rondelle de drap et sous l'anneau qu'est passée la couche de vernis.

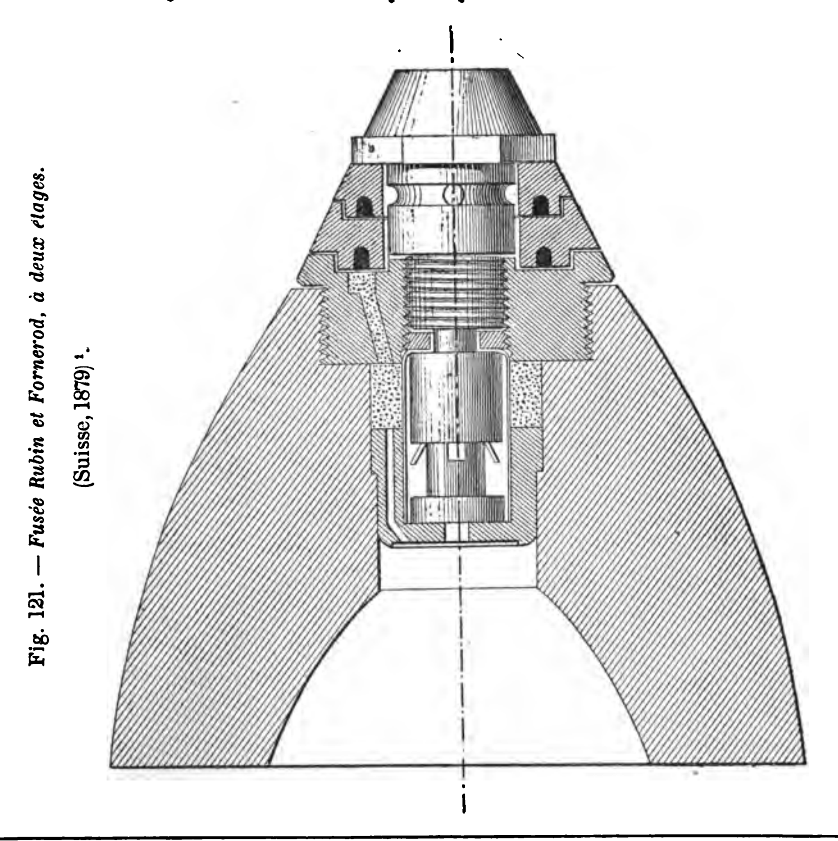


Fig. 121. — *Fusée Rubin et Fornerod, à deux étages.* (Suisse, 1879)[1].

1. Au-dessous de la fusée à durée se trouve une fusée percutante; voir plus loin, § 6.

Si on veut que la fusée puisse fournir de très grandes durées de combustion, rien n'est plus facile que d'y mettre deux anneaux semblables l'un au-dessus de l'autre, et d'ajouter les durées correspondant au développement de chacun d'eux. (Voir fig. 121.)

Dans le type qu'on vient de décrire, le serrage de l'anneau (ou des anneaux) est produit par une grosse tige dont la partie supérieure est épanouie en forme de champignon et dont la partie inférieure est filetée pour être vissée dans le centre du corps de fusée. Il est tout aussi rationnel de faire l'inverse, c'est-à-dire d'avoir une tige d'une seule pièce avec le corps de fusée, et de reporter le filetage à sa partie supérieure, pour y visser un large écrou qui exercera sur l'anneau de réglage la pression voulue. Telles sont en général les fusées allemandes; nous en donnons comme type une fusée Krupp de 1878 (fig. 122).

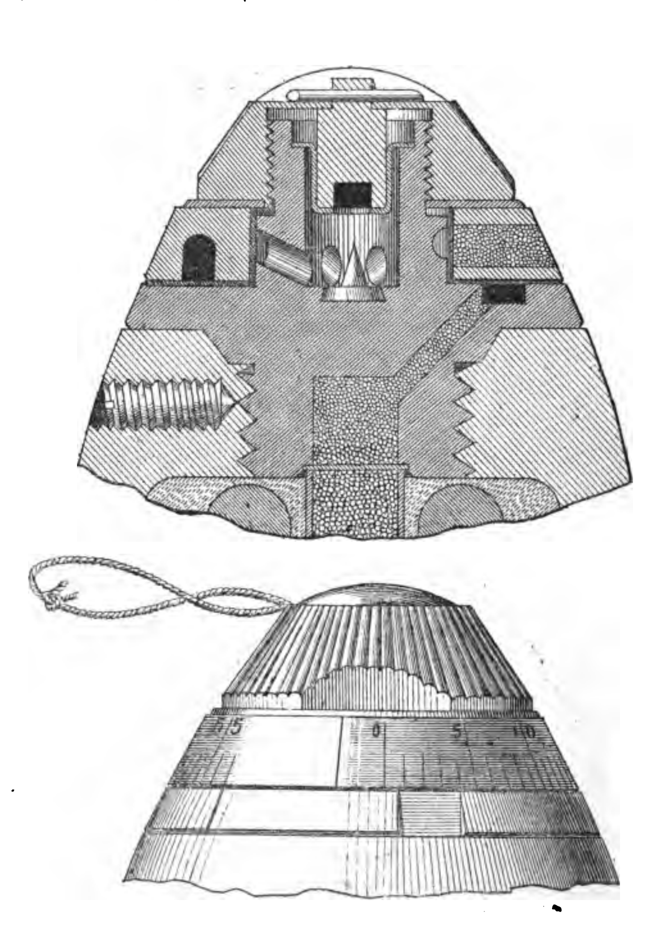
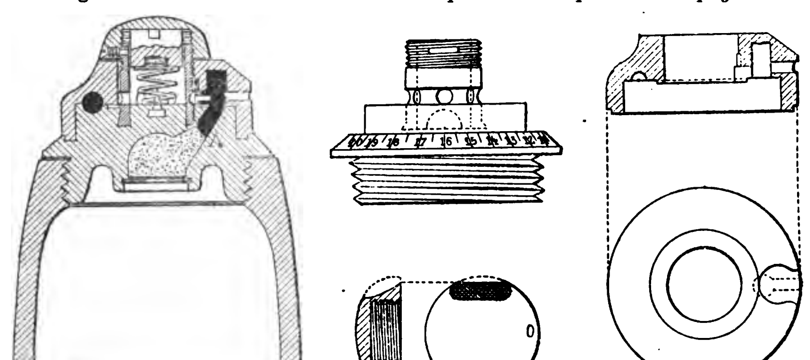


Fig. 122. — *Fusée Krupp (1878).*

III. — Fusée Bazichelli.

Toutes ces fusées dérivent très directement de la fusée Breithaupt, que nous avons fait dériver elle-même de la fusée Bormann en rendant mobile une partie de la paroi du canal de composition. Cette modification avait tout simplement pour but de supprimer l'opération du perçage et de rendre l'inflammation automatique. L'artillerie italienne a trouvé le moyen de concilier l'avantage qui en résulte avec ceux que présente l'emploi d'un tube de plomb renfermant la composition fusante. (Voir § 1.)

Fig. 123. — *Artillerie italienne. — Fusée pour les Shrapnels de campagne.*



Le tube, ployé suivant une circonférence non fermée, est logé par la moitié de son épaisseur dans le plateau du corps de fusée, à l'intérieur duquel s'enfonce une des extrémités A. Le tout est recouvert par un anneau tournant, dans lequel se trouve une petite chambre remplie de poudre. Au départ du coup, le concuteur met le feu à cette poudre, laquelle donne un jet de flamme assez puissant pour fondre le tube de plomb et allumer la composition.

IV. — Fusées avec tube héliçoïdal.

L'emploi du tube fusant, où les dimensions sont réduites au minimum, et qui peut être contourné suivant une courbe quelconque, a fourni une nouvelle base pour l'établissement de fusées pouvant avoir à la fois *le ré-*

glage continu et *des durées très grandes*. Telle est la fusée à double effet de l'artillerie française (fig. 124).

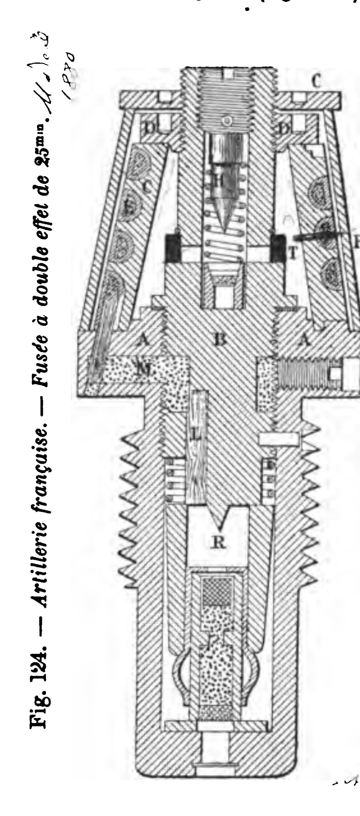


Fig. 124. — *Artillerie française. — Fusée à double effet de* 25mm.

LÉGENDE :

A. — Corps de fusée.

B. — Tige du bouchon.

C. — Barillet.

D. — Son écrou de serrage.

E. — Tube fusant.

F. — Chapeau de réglage.

G. — Son écrou de serrage.

H. — Appareil concutant.

T. — Rondelle de poudre comprimée.

R. — Appareil percutant Budin (voir le § suivant).

M. — Poudre de chasse.

L. — Mèche à étoupille.

Le tube fusant est enroulé dans une rainure héliçoïdale qui monte lentement, de gauche à droite, sur un tronc de cône creux C, en métal peu dur, appelé le *barillet*. Son extrémité inférieure est mise en communication, par un canal deux fois coudé, rempli de mèche à étoupille ou de poudre de chasse, avec une grande chambre ménagée dans la partie inférieure et cylindrique du corps de fusée.

Le barillet est posé autour d'un arbre central, qui renferme l'appareil concutant (§ 2). Celui-ci est formé tout simplement par un percuteur qu'un ressort spiral soutient au-dessus de l'amorce fulminante et y laissera pénétrer lorsque le coup partira. La flamme ainsi produite sortira par quatre évents en croix, et mettra le feu à une rondelle en poudre comprimée, T, qui entoure l'arbre à cette hauteur; dès lors tout l'espace vide qui se trouve entre l'arbre et le barillet sera rempli de feu. Si donc on a percé d'avance, en un point quelconque M, le tube et le barillet jusqu'à cet espace vide, le feu, passant par le trou, prendra à la composition, descendra le long de l'hélice

par couches successives, et arrivera à l'extrémité inférieure au bout d'un temps proportionnel au chemin parcouru.

Reste à savoir comment le servant saura en quel endroit il doit faire le trou. Le barillet est entouré d'un tronc de cône en laiton appelé le *chapeau*, qui est percé d'une série de trous disposés sur une hélice correspondant à celle du tube de composition. Ces trous sont espacés de seconde en seconde, et chacun porte son numéro. C'est dans l'un d'eux et d'après ce numéro, que le servant engage son poinçon pour l'enfoncer dans le barillet. Si le chapeau était fixé sur le barillet, on ne pourrait obtenir ainsi que des durées représentées par un nombre entier de secondes; mais on peut le faire tourner de l'angle qui correspond à la durée d'une seconde, et une graduation qui divise cet angle en dix parties égales, gravée sur la partie fixe au-dessus de laquelle tourne la base du chapeau, permet d'obtenir une fraction désignée. Si, par exemple, on veut une durée de $19^s,6$, on amènera l'index du chapeau au-dessus du 6e trait de la graduation, et on enfoncera le poinçon dans le trou marqué 19. Le mouvement angulaire est limité dans les deux sens par une petite cheville saillante qui coulisse dans une fente du chapeau, et l'arrête lorsque l'index passerait en deçà du trait *zéro* ou au delà du trait *dix* de la graduation. De plus, un écrou de serrage C, placé au-dessus du chapeau, permet de lui donner la mobilité nécessaire pour l'amener à la position voulue, puis de le fixer solidement dans cette position.

§ 6. — FUSÉES MIXTES OU A DOUBLE EFFET

On appelle fusées mixtes celles où sont réunis ensemble un appareil fusant et un appareil percutant; celui-ci fonctionne lorsque, par erreur, le premier a été réglé pour une durée plus longue que celle du trajet, ou lorsque, avec intention, on l'a laissé inerte.

Suppléer par l'un des deux appareils aux ratés possibles de l'autre et, ainsi, diminuer énormément le nombre des ratés d'explosion[1];

permettre d'employer à volonté le tir fusant ou le tir percutant suivant que les circonstances rendent l'un ou l'autre plus avantageux;

---

1. Si p_1 est la probabilité d'un raté de l'appareil fusant et p_2 celle d'un raté de l'appareil percutant, la probabilité du concours des deux événements n'est plus que $p_1\,p_2$. Soit, par exemple,

$$p_1 = p_2 = 0{,}03;$$

on a $p_1\,p_2 = 0{,}0009$.

dans les cas où le premier sera préféré, en faciliter le réglage par un tir percutant préalable ou alterné;

fournir un moyen de faire éclater l'obus dans les tirs avec de petites charges, lesquelles sont impuissantes pour armer les fusées à réaction;

tels sont les avantages principaux des fusées à double effet.

L'artillerie anglaise a longtemps été la seule qui eût régulièrement une fusée de ce genre. C'était celle de l'obus à segments Armstrong; il y eut d'abord deux fusées distinctes, qu'on plaçait l'une après l'autre dans l'œil de l'obus, et plus tard les deux appareils furent réunies dans un même corps de fusée.

La même idée se retrouve dans le système Rubin et Fornerod. La fusée à durée qui a été décrite sous ce nom (§ 5) est disposée pour être placée au-dessus d'une fusée percutante à double réaction. (Voir la fig. 121.)

Enfin la fusée française qui a été décrite dans le paragraphe précédent, est également une fusée mixte, dont l'appareil percutant n'est autre chose qu'un système Budin. (Voir la fig. 124 et le chap. V, § 6.)

§ 7. — TABLEAU SYNOPTIQUE DES FUSÉES

Nous résumons et nous rapprochons, dans le tableau ci-contre, les principes sur lesquels sont fondées les fusées décrites dans ce chapitre et le précédent.

EXPLOSION DU PROJECTILE OBTENUE

sans organe

1er.)

sais. (Chap. V, § 2.)

ntin. (Idem.)

au moyen d'une fusée

per

le percuteur, qui brise ses appuis ou écrase ses soutiens. — ***Fusée de la marine française.*** *(§ 5.)*

un soutien en forme de manchon-masselotte, qui fait ensuite corps avec le percuteur. — ***Fusée Budin et ses dérivées.*** *(§§ 6 et 7.)*

percuteur. — ***F. Kernaul.*** *(§ 9.)*

outien en forme de goupille transversale. — ***Fusées alle-***

(Chap. VI, § 3.)

éfini. — ***Fusées en bois.*** *(Chap. VI, § 3.)*

ise d'obus à balles. (§ 4.)

à d

. — ***F. Reffye.*** *(§ 4.)*

urs étages. — ***Fusées françaises de 1859 à 1870.*** *(§ 4.)*

emiers essais de la fusée française à double effet.

en un point variable. — ***F. Breithaupt.*** *(§ 5, I.)*

à une extrémité. — ***F. Armstrong, 1862.*** *(§ 5, II.)*

u toujours à l'extrémité; un ou deux étages. — ***Fusées***

. (§ 6.)

mi

(Ce tableau doit être placé en face de la page 112.)

CHAPITRE SEPTIÈME

RAPPEL DES POINTS PRINCIPAUX DE LA THÉORIE DE LA PROBABILITÉ DU TIR.

L'effet du tir, ou, suivant une expression qu'on a empruntée à la mécanique appliquée, l'*effet utile du tir*, est le résultat de deux facteurs. L'un est la probabilité que le projectile arrive au point voulu; l'autre est l'action qu'il y exerce alors en vertu de l'organisation qui lui est propre et des conditions dans lesquelles il vient d'être lancé.

La théorie du premier facteur a été développée ailleurs; mais nous devons en rappeler ici les faits principaux pour servir de préliminaire à l'étude du second.

§ 1. — CONSTITUTION DU FAISCEAU DES TRAJECTOIRES.

Lorsqu'on va tirer un coup de canon, on ne sait rien d'absolu sur la trajectoire que décrira le projectile. La seule chose que l'on connaisse, encore n'est-ce que dans des mesures parfois insuffisantes d'approximation et de probabilité, c'est une courbe idéale, qui est relative, non pas à un coup unique, mais à un grand nombre de coups, qu'on appelle la *trajectoire moyenne*, et autour de laquelle les trajectoires individuelles se groupent avec une densité qui décroît rapidement à mesure qu'on s'en éloigne. C'est sur la loi de cette variation de la densité que roule toute la question de la probabilité du tir.

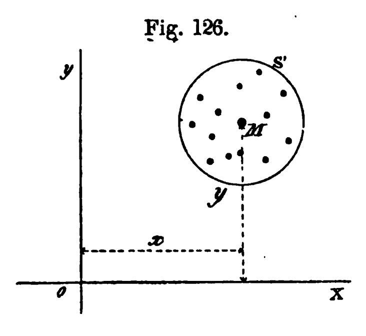
Pour simplifier les choses, coupons le faisceau des trajectoires, à la distance du but, par un plan *normal à la trajectoire moyenne*. Nous pourrons,

au lieu des trajectoires, considérer leurs points d'intersection avec ce plan, qu'on appelle les *points d'impact.* La loi du groupement des trajectoires autour de la trajectoire moyenne résultera de la loi du groupement des points d'impact autour de celui d'entre eux qui correspond à ladite trajectoire.

Par ce point particulier O, que nous appellerons le *point moyen*, menons, dans le plan normal, deux axes rectangulaires Ox et Oy, dont le premier soit horizontal, et dont l'autre coïncidera dès lors avec une ligne de plus grande pente du plan.

Soit N le nombre total des coups tirés, supposé très grand, et n le nombre des points d'impact qui se trouvent dans une étendue déterminée S. Nous appellerons *densité moyenne des points d'impact dans la surface* S le rapport $\frac{n}{S}$; si la surface S se rapetisse indéfiniment autour d'un point central M, ce rapport tend vers une certaine limite, qui est *la densité au point* M. En considérant les points d'impact comme autant de points matériels, cette définition de la densité reviendrait à celle admise dans les sciences physiques.

Fig. 126.



La densité en un point quelconque M est évidemment proportionnelle au nombre total N des points d'impact, et on peut la concevoir sous la forme Nz. Quant au facteur z, c'est une fonction des coordonnées y, x du point M, fonction renfermant deux paramètres h, g, qui dépendent de l'ensemble des conditions du tir et le caractérisent au point de vue dont il s'agit ici, mais ne peuvent être déterminées qu'*a posteriori*, parce que l'analyse complète de ces conditions est au-dessus de nos forces.

Cette fonction est la suivante :

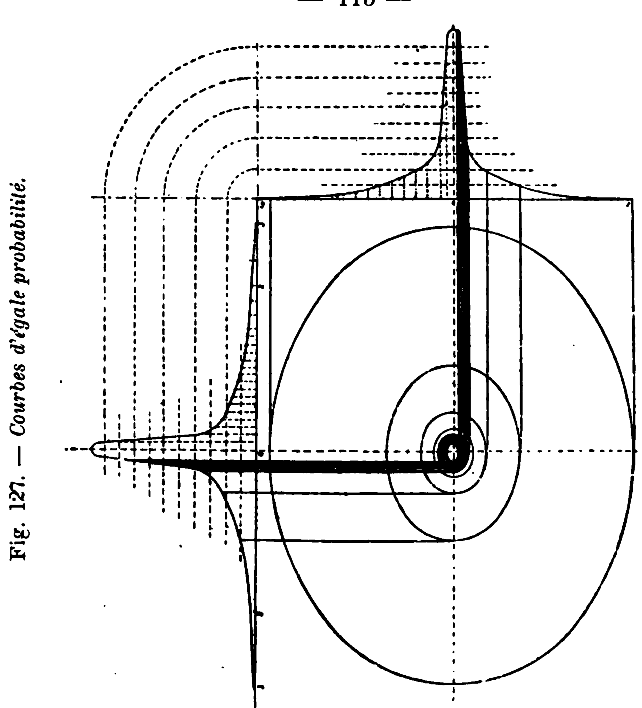
$$z = \frac{hg}{\pi} \cdot e^{-(h^2y^2+g^2x^2)}, \qquad [1]$$

où e désigne le nombre 2,3026, et π le nombre 3,1416.

Si l'on fait varier y et x sous la condition

$$h^2y^2 + g^2x^2 = k^2, \qquad [1']$$

k désignant une constante arbitraire, la valeur z reste la même. Et si l'on fait varier k, l'équation [1'] fournit une suite d'ellipses concentriques, qui sont les *courbes d'égale densité.* On peut considérer l'équation [1] comme représentant une surface dont ces ellipses sont les courbes de niveau, et qui a la forme représentée par la figure 127.


Fig. 127. — *Courbes d'égale probabilité.*

Le nombre des points d'impact qui se trouvent dans un rectangle très petit ayant son centre au point M et ses côtés dy, dx parallèles aux axes, est égal au produit de l'aire par la densité moyenne, c'est-à-dire à

$$N z \, dy \, dx .$$

Par suite, le nombre n des points qui se trouvent dans une surface quelconque S est fourni par l'intégrale double

$$n = N \int \int z \, dy \, dx \qquad [2]$$

étendue à tous les points de la surface. C'est le produit de N par le *volume d'un cylindre droit ayant pour base inférieure la surface S, et tronqué par la surface* [1].

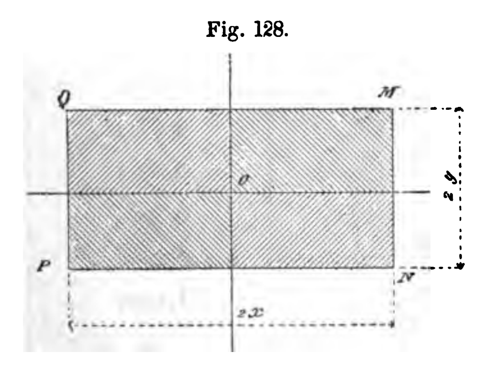


Fig. 128.

Les courbes d'égale densité jouissent de la propriété, facile à démontrer, que la surface entourée par chacune d'elles contient plus de points d'impact que toute autre surface égale.

Appliquons la formule [2] au rectangle $MNPQ$ dont les sommets sont les quatre points symétriques qui ont pour coordonnées $\pm x, \pm y$.

Le cylindre est alors remplacé par les quatre faces d'un parallélipipède, et si l'on pose, pour abréger,

$$hy = y', \quad gx = x', \quad \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-t^2} dt = \theta(t), \qquad [3]$$

l'expression [2] devient

$$n = N . \theta(y') . \theta(x'). \qquad [4]$$

C'est la formule du nombre des points d'impact contenus dans un rectangle ayant son centre au point moyen, sa hauteur égale à $2y$, et sa largeur égale à $2x$.

Si nous supposons $x = \infty$, la formule [4] se réduit à

$$n = N . \theta(y'); \qquad [5]$$

nous avons alors le nombre des points contenus dans une bande indéfinie en largeur, et limitée en hauteur par deux horizontales situées de part et d'autre du point moyen à la distance y. De même la formule

$$n = N . \theta(x') \qquad [6]$$

donne le nombre des points contenus dans une bande indéfinie en hauteur, et limitée en largeur par deux lignes situées de part et d'autre du point moyen à la distance x. La loi du groupement est la même pour les deux sens, sauf les valeurs numériques des constantes, et ce que l'on dit de l'un s'applique à l'autre, à la seule condition de remplacer x' par y', ou réciproquement. Dans le § suivant, nous ne considèrerons que le sens auquel se rapporte la formule [5].

Le double tableau que voici fait connaitre quelques valeurs de la fonction $\theta(t)$:

$\theta(t)$ en fonction de t.

t.	$\theta(t)$.
0,0	0,0000
0,5	0,5205
1,0	0,8427
1,5	0,9661
2,0	0,9953
2,5	0,9996
3,0	0,99998
»	»
4,0	0,99999998

t en fonction de $\theta(t)$.

$\theta(t)$.	t.
0,00	0,0000
0,20	0,1791
0,30	0,2724
0,40	0,3708
0,50	0,4769
0,60	0,5951
0,70	0,7329
0,80	0,9062
0,90	1,1631
1,00	∞

§ 2. — ÉCARTS PROBABLES.

On voit par le tableau précédent que la valeur $\theta(t)=0,5$, ou $n=\frac{1}{2}N$, correspond à $t=0,4769$. Si donc on pose

Fig. 129.

$$OA=OB=r=\frac{0,4769}{h},$$

les horizontales A, B détermineront une bande renfermant la moitié du nombre total des points d'impact. Cette longueur r a reçu le nom d'*écart probable*, nom très mal choisi car il éveille une idée qui ne repose sur rien; nous le conservons, mais en prévenant qu'on doit dépouiller de leur sens individuel les deux mots dont il se compose.

A la constante h, qui n'a qu'une signification abstraite, on a pris l'habitude, dans la pratique du tir, de substituer l'écart probable r, dont la propriété frappe vivement l'esprit. On voit que les deux grandeurs sont inversement proportionnelles l'une à l'autre.

Si nous éliminons h pour mettre r à sa place, l'argument de la fonction $\theta(t)$ devient

$$y'=y\times\frac{0,4769}{r}=\frac{y}{r}\times 0,4769,$$

et, pour abréger les calculs, il convient de remplacer la table ci-dessus, qui procède suivant les multiples de y', par une autre procédant suivant les multiples du rapport $\frac{y}{r}$. On trouve aujourd'hui cette table dans un grand nombre d'ouvrages; nous la représentons ici par une échelle graphique, suffisante pour la plupart des besoins, et plus commode lorsqu'on veut considérer la fonction inverse. La légende qui accompagne le dessin en explique suffisamment l'usage.

Fig. 130. — ECHELLE REPRÉSENTANT LA LOI DU GROUPEMENT DES POINTS D'IMPACT DE PART ET D'AUTRE DU POINT MOYEN.

Distance au point moyen divisée par l'écart probable.

(L'intervalle entre deux divisions consécutives représente une variation de ***deux centièmes de l'écart probable.***)

C 4,0 … 3,0 … 2,0 … 1,0 … 0,0 … 1,0 … 2,0 … 3,0 … 4,0 D

(496,5) (495) (490) (485) (480) 475 450 425 400 375 350 325 300 275 250 225 200 175 150 125 100 75 50 25 0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 (480) (485) (490) (495) (496,5)

Nombre de coups pour mille.

(L'intervalle entre deux divisions consécutives représente une variation de ***cinq coups pour mille.***)

Cette échelle fait connaître à vue :

1° Le nombre des points d'impact, sur mille, qui se trouvent entre deux points situés à égale distance de part et d'autre du point moyen : ***Diviser cette distance par l'écart probable; lire le quotient sur l'échelle supérieure, et passer au nombre correspondant de l'échelle inférieure.***

Par des additions ou des soustractions, on aura aussi le nombre des points d'impact situés entre deux points quelconques définis par leurs distances au point moyen.

2° La longueur ayant son centre au point moyen, et renfermant un nombre donné de points d'impact : ***Lire ce nombre sur l'échelle inférieure; passer au nombre correspondant de l'échelle supérieure, et multiplier l'écart probable par celui-ci.***

Ce dessin montre d'une manière frappante combien la densité décroît vite quand on s'éloigne du point moyen. Elle est tellement affaiblie à partir de $y = 4r$ que, pour un nombre total de 1000 points, il n'en reste que 7 en dehors de la bande : 3,5 d'un côté et 3,5 de l'autre. Aussi dit-on souvent que TOUS *les points sont compris dans une bande dont les limites* C, D *s'obtiennent en portant de part et d'autre du point* O *une hauteur égale à quatre fois l'écart probable.* C'est là une deuxième et très utile propriété de cette grandeur.

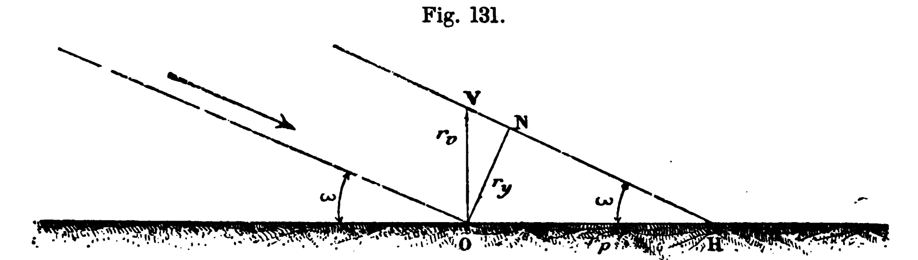
L'écart probable est dit *écart probable en hauteur,* quand on considère des bandes de largeur indéfinie et de hauteurs variables, et *écart probable en direction* quand, au contraire, c'est la hauteur qui est indéfinie et la largeur qui est variable. Il suit de ce qui précède que la bande peut être considérée comme *pratiquement infinie,* si elle s'étend de part et d'autre du point moyen à une distance plus grande que quatre fois l'écart probable correspondant.

§ 3. — PLANS OBLIQUES.

Au lieu de recevoir les points d'impact sur un plan normal à la trajectoire moyenne, on peut les recevoir sur un plan ayant une toute autre direction.

En faisant tourner le plan normal *ON* autour de son horizontale *Ox* jusqu'à

Fig. 131.



ce qu'il prenne, soit une position verticale *OV*, soit une position horizontale *OH*, nous aurons les deux cas les plus fréquents, celui du tir sur une cible ou une rangée de panneaux, et celui du tir sur le sol. Il est clair que, si on appelle ω l'angle de chute, l'écart probable normal r_y doit être remplacé, dans le premier cas, par

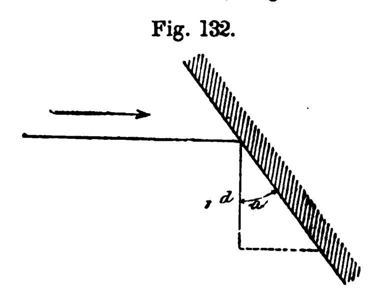
$$r_v = \frac{r_y}{\cos \omega} \text{ (écart probable vertical),}$$

et dans le second cas par

$$r_p = \frac{r_y}{\operatorname{tg} \omega} \text{ (écart probable en portée).}$$

Si le sol avait une inclinaison notable dans le sens du tir, il faudrait, dans la seconde formule, augmenter ou diminuer ω en conséquence.

Fig. 132.



Dans le tir oblique, c'est-à-dire lorsque le plan qui reçoit les coups, au lieu d'être perpendiculaire à la direction du tir, fait avec elle un angle $90^\circ + \alpha$, il faut, en outre, remplacer l'écart probable en direction r_d par

$$r'_d = \frac{r_d}{\cos \alpha}.$$

§ 4. — DÉTERMINATIONS EXPÉRIMENTALES.

Le faisceau des trajectoires est complètement défini dans sa position et dans sa constitution par trois données, savoir : le point moyen O et les deux écarts probables sur un plan quelconque.

Ces trois éléments s'obtiennent *a posteriori* d'après les relevés d'un certain nombre de coups. Le point O est le centre de gravité des points de chute, comme son nom l'indique. Quant aux écarts probables, on pourrait les déterminer en appliquant leur définition, c'est-à-dire : mener par le point O les deux axes Oy et Ox, mesurer les coordonnées y de chaque point de chute, les ranger par ordre de grandeur et prendre le terme qui se trouve en avoir autant au-dessus de lui qu'au-dessous; faire ensuite la même chose pour les coordonnées x. Mais, comme les intervalles sont d'autant plus grands que leur nombre est plus petit, on voit de suite que cette manière de faire ne peut donner quelque précision que si le nombre des coups est très considérable.

En fait, l'écart probable se détermine par l'intermédiaire de l'*écart moyen*. Celui-ci, qui répond mieux à l'idée amenée par son nom, n'est autre chose que la moyenne arithmétique des deux coordonnées y ou x, suivant celui des deux sens que l'on considère. On démontre, mais nous ne le ferons pas ici, qu'il suffit de le multiplier par la fraction

$$0{,}845$$

pour avoir l'écart probable.

§ 5. — PROBABILITÉ D'ATTEINDRE.

La probabilité p d'atteindre *en un coup* une surface donnée S est égale au nombre des trajectoires qui la rencontrent divisé par le nombre total des trajectoires qui composent le faisceau. Ces deux nombres sont ceux qui étaient désignés par n et N dans les §§ précédents, et les équations

(2), (4), (5), (6)

donnent leur quotient pour les cas les plus importants.

On voit que la probabilité d'atteindre la surface S est nulle, ou peu s'en faut, lorsque cette surface est extérieure au rectangle qui a son centre au point moyen, et ses côtés égaux à huit fois les écarts probables.

La probabilité d'atteindre la surface est au contraire maximum lorsque son point central coïncide avec le point moyen, et on se trouve dans les conditions les plus avantageuses lorsqu'elle est circonscrite par une ellipse d'égale densité (§ 1).

Or, en supposant que la surface S est horizontale, les équations de ces ellipses peuvent s'écrire

$$\left(\frac{y}{r_p}\right)^2+\left(\frac{x}{r_d}\right)^2=k^2;$$

comme, d'autre part, l'écart probable en portée r_p est notablement plus grand que l'autre pour les canons rayés, il s'ensuit qu'on devra, autant que possible, faire coïncider la direction du tir avec celle de la plus grande dimension du but. C'est une règle bien connue; on en voit ici la raison, et on voit de plus qu'il en faudrait prendre le contrepied avec des bouches à feu pour lesquelles la relation de grandeur entre les écarts en portée et en direction serait renversée, comme c'est le cas pour certains mortiers.

Désignons par q la probabilité, égale à $1-p$, de ne pas atteindre la surface S.

La probabilité de l'atteindre *en deux coups* sera $1-q^2$, *en trois coups :* $1-q^3$... etc. S'il suffit de l'atteindre une seule fois pour obtenir le résultat voulu, le nombre de coups que l'on devra tirer pour avoir une probabilité P d'obtenir ce résultat est donné par l'équation

$$P=1-q^n, \quad \text{d'où} \quad n=\frac{\log(1-P)}{\log(1-p)}$$

Sur m coups tirés, il peut y en avoir

$$0, 1, 2, 3..... (m - 1) \text{ ou } m$$

qui touchent le but. Les probabilités respectives de ces $(m + 1)$ évènements ne sont autre chose que les termes successifs du développement du binôme $(p + q)^m$, et ont pour expression générale

$$C_m^n p^n q^{n'}, \qquad [7]$$

en posant, pour abréger, $m - n = n'$ et désignant, suivant l'usage, par C_m^n le nombre des combinaisons sans répétition de m lettres n à n. Chaque terme se déduit du précédent en le multipliant par

$$\frac{m - n + 1}{n} \cdot \frac{p}{q},$$

et les termes vont en augmentant tant que ce rapport est plus grand que 1, mais diminuent ensuite. La valeur n la plus probable est donc celle qui fait passer le rapport par l'unité, et l'on voit aisément que c'est le nombre entier n_0 le plus voisin de mp.

La probabilité P_0 de cette valeur particulière s'obtient en remplaçant n par n_0 dans l'expression [7]. Lorsque m est un grand nombre, ce calcul serait fort laborieux. Mais il faut observer que, dans ce cas, la probabilité P_0, bien que supérieure à celle de toute autre valeur *déterminée*, est encore très faible elle-même. Ce qu'il importe alors de connaître, ce n'est pas la probabilité que le nombre des coups heureux soit *juste* égal à n_0, mais celle qu'il ne s'en écarte, en plus ou en moins, que d'un nombre inférieur à un nombre donné y. Or celle-ci peut s'obtenir approximativement au moyen de la curieuse fonction θ qui fait le fond des §§ précédents. Si l'on pose en effet

$$h^2 = \frac{m}{2 n_0 (m - n_0)}, \quad \text{et puis } y' = hy,$$

elle n'est pas autre chose que la valeur $\theta(y')$ elle-même.

C'est en combinant ces principes de la probabilité du tir avec ceux de l'action des projectiles, que l'on peut évaluer la quantité de munitions nécessaire pour obtenir avec une probabilité donnée un résultat désigné, qui sera, par exemple, l'ouverture d'une brèche, la démolition d'un abri voûté, la destruction d'un ouvrage cuirassé, etc.

Mais les principes exposés dans les §§ 1 et 2 sur la constitution du faisceau des trajectoires et le groupement des coups ont en outre une très grande importance pour la pratique du tir, qu'il soit dirigé contre un obstacle matériel ou contre des troupes. Il est indispensable que l'officier les ait bien compris et en ait les résultats présents à l'esprit.

Pour s'épargner des mécomptes, on doit savoir aussi que toutes les valeurs qui figurent dans la table de tir, les angles de chute, les vitesses initiales et d'arrivée, les écarts probables... etc., ne sont, comme les portées et les dérivations, que des *valeurs moyennes*. Or une valeur moyenne est une valeur purement idéale, qui ne se produira presque jamais dans les épreuves. Il s'en produira d'autres qui pourront en différer plus ou moins, et dont la fréquence ou la probabilité sont régies par la loi qu'expriment l'équation [5] et la figure de la page 118, c'est-à-dire que :

1° la moitié à peu près des valeurs obtenues sera au-dessus de la moyenne, et l'autre moitié au-dessous;

2° dans chacune de ces moitiés, il y en aura 50 °/₀ qui s'éloigneront de la moyenne d'une quantité moindre qu'une certaine valeur caractéristique, appelée l'*erreur probable;*

3° il n'y en aura pas, ou presque pas, qui s'en éloigne de plus de quatre fois cette valeur.

Afin de bien faire comprendre le danger contre lequel nous voulons mettre en garde, supposons que l'on doive, pour obtenir le résultat demandé, faire arriver sur le but un certain nombre de projectiles avec une vitesse donnée v. Si l'on se contente de lire cette vitesse dans la table et d'établir en conséquence les conditions du tir, on se trouvera dans le cas dont il s'agit, c'est-à-dire que la moitié environ des projectiles envoyés arrivera avec une vitesse inférieure à v, et ne produira pas l'effet sur lequel on comptait.

Nota. — Cette curieuse fonction $\theta\,(hx)$, qui, suivant une expression célèbre, *réglemente le hasard,* que nous avons représentée par une échelle graphique à la page 118, et dont nous avons exposé les principales propriétés, trouve des applications dans les sujets les plus variés. On en verra quelques-unes dans l'ouvrage : *Préambule commun à diverses recherches expérimentales d'art et de technologie militaires*, par Legros, capitaine au 43ᵉ régiment de ligne. — Paris, Tanera, 1880.

CHAPITRE HUITIÈME

TIR CONTRE DES OBSTACLES MATÉRIELS.

§ 1. — EXPRESSION DE LA RÉSISTANCE ÉPROUVÉE PAR UN PROJECTILE SE MOUVANT DANS UN MILIEU SOLIDE.

Lorsqu'un projectile se meut dans un milieu quelconque, il en éprouve une résistance qui épuise rapidement sa force vive. Cette résistance dépend de la forme et des dimensions du mobile, puis de la nature du milieu, et enfin, comme toutes les forces dissipatives d'énergie, elle varie avec la vitesse relative du mobile et du milieu.

Quand le projectile change, il est clair que la résistance doit varier proportionnellement à la surface sur laquelle elle s'exerce. Et, si nous supposons des projectiles semblables et semblablement placés par rapport à la direction du mouvement, nous pouvons dire qu'elle est proportionnelle à la section droite πr^2.

Soient v la vitesse du projectile au temps t, et $f(v)$ la résistance au même instant. Il suit de la nature même de la question que la fonction $f(v)$ ne saurait s'annuler pour aucune valeur réelle et positive de v, et nous pourrions, au moyen de l'expression générale à laquelle on a recours si souvent, la concevoir sous la forme

$$f(v) = \pi r^2 (a + bv + cv^2 + dv^3 + \ldots).$$

Mais la considération suivante permet de préciser davantage cette fonction.

La résistance se compose de deux parties principales. La première, provenant de la cohésion du milieu, consiste dans l'effort que le projectile doit exercer pour diviser la matière, se frayer un passage et vaincre les frottements; elle peut être considérée comme indépendante de la vitesse. La seconde résulte du mouvement imprimé aux molécules qui sont choquées par

le projectile ou glissent sur sa surface, et, dans les deux cas, s'éloignent de lui avec une force vive plus ou moins grande qu'elles prennent à ses dépens; on peut considérer cette seconde partie comme proportionnelle à la force vive du projectile, c'est-à-dire au carré de la vitesse v.

Lorsque le mouvement se fait dans l'air, c'est-à-dire dans un milieu où la cohésion est nulle et où les molécules sont douées d'une mobilité excessive, la première partie disparaît complètement en présence de la seconde; l'influence de la mobilité des molécules est même si grande que le rapport de cette seconde partie au carré de la vitesse augmente encore lui-même avec la vitesse. On a dans ce cas,

$$f(v)=\pi r^2 .\ bv^2 .\ \varphi(v),$$

$\varphi(v)$ désignant une fonction à dérivée positive. (Voir les leçons sur la *Balistique extérieure.*)

Lorsque le mouvement se fait dans un milieu ayant beaucoup de cohésion et de ténacité, comme le fer, c'est, au contraire, la seconde partie qui disparaît en présence de la première, et on peut considérer la résistance comme indépendante de la vitesse, c'est-à-dire poser

$$f(v)=\pi r^2 .\ a . \qquad [1]$$

Enfin, pour les milieux où la cohésion et la ténacité ont des valeurs intermédiaires, comme les terres et les maçonneries, les deux parties de la résistance ont des importances à peu près du même ordre, et demandent à figurer l'une et l'autre; il faut alors poser

$$f(v)=\pi r^2 (a+bv^2) . \qquad [2]$$

Telles sont les deux formules dont nous ferons usage, sous la réserve que leurs conséquences se montreront suffisamment d'accord avec les faits observés. C'est par les valeurs des paramètres a et b que les divers milieux se distinguent les uns des autres, et ces valeurs se déterminent expérimentalement comme on le verra ci-après.

En développant les conséquences de ces formules, nous ferons abstraction de la rotation du projectile sur lui-même, bien qu'elle soit loin d'être sans influence sensible; mais il faut observer que la détermination expérimentale des constantes en tiendra compte d'une manière indirecte et approximative. Traiter la question en toute rigueur conduit à une théorie très compliquée, qui a fait l'objet d'un mémoire étendu du général Mayewsky, publié dans le tome V de la *Revue de technologie*, et résumé dans les numéros des 4, 11, 18 et 25 janvier 1867 du journal anglais l'*Engineer*.

Suivant le même ordre que dans le chapitre III, nous prendrons d'abord le cas des cuirasses de navires, qui dépend de l'expression [1].

§ 2. — LOIS DE LA PÉNÉTRATION DES PROJECTILES OGIVAUX DANS LES MURAILLES CUIRASSÉES. (Formules de M. Hélie.)

On a vu dans le chapitre III quelle est l'action du projectile sur la plaque suivant la forme de sa partie antérieure. Pour le projectile cylindrique, qui détache et pousse devant lui un large ménisque, le phénomène se passe avec moins de régularité que pour le projectile ogival.

D'ailleurs celui-ci est de beaucoup le plus employé, et l'on possède à son égard un grand nombre de résultats d'expériences. Pour ces trois motifs, il a seul occupé les auteurs qui ont cherché des formules permettant de représenter et de prévoir les effets du tir contre les cuirasses. Nous allons exposer les recherches de M. Hélie, qui paraissent être à la fois les plus complètes et les plus satisfaisantes.

I. — Cas d'une plaque isolée.

Considérons d'abord une plaque isolée, de profondeur indéfinie, et appelons

p le poids du projectile,

d son diamètre,

g la pesanteur,

X la pénétration, c'est-à-dire le chemin parcouru lorsque la vitesse d'arrivée v est devenue égale à zéro.

Pendant que le projectile se meut dans la plaque, il n'y a pas d'autres forces agissant sur lui que la réaction retardatrice et la pesanteur. La seconde peut être négligée, et, d'après l'équation [1], la première est constante. Nous avons donc, par le théorème des forces vives :

$$\frac{1}{2}\frac{p}{g}v^2 = a.\pi r^2.X.$$

Soient maintenant e l'épaisseur d'une plaque déterminée, et w la vitesse d'arrivée normale *nécessaire, mais juste suffisante, pour que le projectile la traverse*. Si le mouvement de celui-ci s'accomplissait sur la longueur e comme dans un massif illimité, nous pourrions remplacer, dans l'équation précédente, v par w, et X par e ; nous aurions ainsi, entre ces deux quantités,

une relation qui, en introduisant le diamètre à la place du rayon et remplaçant tous les facteurs constants par un seul k^2, aurait la forme

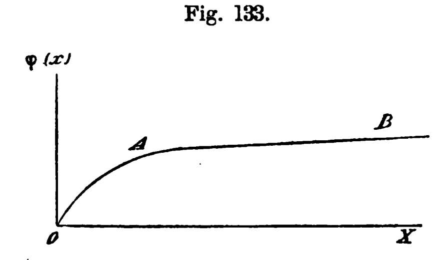
$$pw^2 = k^2.d^2.e \qquad [3]$$

Mais, dans la plaque illimitée, les couches qui se trouvaient au delà de la profondeur e contribuaient à l'effort développé pour arrêter le projectile, bien avant d'être atteintes elles-mêmes par lui. En les supprimant, on facilite la tâche de celui-ci, et on change les conditions du mouvement. Dès lors, pour que l'équation [3] reste exacte, il faut multiplier son second membre par une fonction qui dépend à la fois de l'épaisseur de la plaque et de la grosseur du projectile, et qu'on est probablement en droit, conformément aux principes de la similitude, de faire dépendre seulement du rapport de ces deux éléments. Nous poserons donc

$$pw^2 = k^2.d^2.e.\varphi\left(\frac{e}{d}\right).$$

La fonction inconnue $\varphi(x)$ doit satisfaire aux conditions suivantes : être nulle pour $x = o$, croître avec x, puis demeurer à peu près constante lorsque cette variable dépasse une certaine grandeur. Elle serait représentée par une courbe telle que OAB, et nous pouvons la concevoir développée sous la forme $A_1 x + A_2 x^2 + \ldots.$ Comme nons ne considérons que de petites valeurs de x, il est sans doute suffisamment approché de la réduire à son premier terme, et nous avons alors

Fig. 133.



$$pw^2 = k^2.d^2.e.A_1\frac{e}{d} = h^2.d.e^2, \qquad [4]$$

h^2 désignant une nouvelle constante.

Le paramètre h, qui caractériserait, au point de vue de la résistance, la qualité du métal avec lequel la plaque est faite, se déterminera en portant dans l'équation

$$h = \frac{w}{e}\sqrt{\frac{p}{d}} \qquad [4']$$

des valeurs concomitantes de e et w obtenues en choisissant dans les observations celles où le projectile a *juste* traversé la plaque. On devrait trouver toujours le même résultat; mais il en a pas été ainsi, et les valeurs de h se sont montrées nettement décroissantes lorsque e augmente. Cela tient, a pensé M. Hélie, à ce que la qualité des plaques diminue avec l'épaisseur, parce que celle-ci augmente beaucoup les difficultés de fabri-

cation. Puis, quelques tâtonnements lui ont montré que les valeurs de h étaient inversement proportionnelles aux racines cubiques des épaisseurs; en prenant le décimètre pour unité des diamètres et des épaisseurs, le kilogramme pour unité des poids et le mètre pour unité des vitesses, le rapport de proportionnalité était 1440. En d'autres termes, il a pu représenter toutes les valeurs de h par l'expression

$$h = \frac{1440}{\sqrt[3]{e}} = 1440\, e^{-\frac{1}{3}},$$

qui, substituée dans [4], donne

$$pw^2 = 2.073.600 \times d \times e^{\frac{4}{3}}. \qquad [5]$$

C'est la formule définitive, de laquelle on déduit les deux théorèmes suivants :

1° La résistance des plaques est proportionnelle à la puissance $\frac{4}{3}$ de leur épaisseur, mais, à mesure que la fabrication fait des progrès, cet exposant tend à augmenter et à s'approcher de 2.

2° Deux projectiles différents, P et P′, traverseront la même plaque de la même manière si on a

$$\frac{pw^2}{d} = \frac{p'w'^2}{d'}, \quad \text{ou} \quad \frac{pw^2}{\pi d} = \frac{p'w'^2}{\pi d'},$$

c'est-à-dire que la puissance de perforation du projectile est proportionnelle à sa force vive, et inversement proportionnelle *à la circonférence de la section droite.*

On voit, par ce dernier énoncé, qu'il y a une différence remarquable entre l'aptitude du projectile à vaincre la résistance de l'air et celle à vaincre la résistance d'une plaque de cuirasse : tandis que la première est inversement proportionnelle à l'*aire* de la section droite (voir chap. 2, § 2, II), la seconde l'est à sa *circonférence.* En se rappelant la suite des raisonnements qui nous ont conduits à la formule [5], on voit que cette différence tient à ce que l'épaisseur de la plaque n'est pas bien grande par rapport aux dimensions du projectile. On la trouvera plus naturelle encore, si on se rappelle la manière dont se fait le passage du projectile ogival à travers la plaque (chap. 3, § 3, II) : sur le pourtour du trou, le métal est étiré et comme laminé par le corps du projectile, et la force que représente ce travail est proportionnelle au développement de la circonférence, mais n'a aucun rapport avec la surface du cercle (si l'on néglige la phase d'entrée de l'ogive).

Cependant quelques auteurs (Martin de Brettes, l'officier belge Adts, et

la plupart des artilleurs russes) ont donné ou emploient des formules exprimant la force vive de pénétration en fonction de *l'aire* de la section droite. Tel est encore l'énoncé suivant, qu'il peut être utile de connaître à raison de sa simplicité, et qui fournit une approximation d'environ $\frac{1}{10}$ en plus ou en moins : *Le projectile de rupture traverse autant de décimètres de fer qu'il a de tonnes-mètres de force vive par centimètre carré de sa section droite.*

La formule [5] s'applique avec assez d'exactitude aux plaques ordinaires, c'est-à-dire ayant de 12 à 30 centimètres d'épaisseur. Mais, appliquée aux plaques de 56 c. qui ont été expérimentées à la Spezzia en 1876 (voir chap. 3, § 1), elle donne une puissance de perforation plus grande que celle réellement observée. Le fait n'a rien d'étonnant, car *une formule empirique, quelle qu'elle soit, n'a plus aucune valeur dès qu'on sort des limites atteintes dans les expériences qui lui ont servi de base.* Il faut dire aussi que la formule [5] suppose que les projectiles ne se brisent pas et se déforment peu; or tous les projectiles tirés à la Spezzia se sont brisés dans la plaque; c'étaient des obus Palliser (voir chap. 3, § 2).

En définitive, on peut dire que la valeur défensive de la plaque n'est pas même proportionnelle au carré de son épaisseur, tandis que la puissance offensive du canon l'est au cube de son calibre (ch. 2, § dernier). Si l'on pense à l'étendue superficielle du navire, et si l'on observe que l'ingénieur ne peut augmenter l'épaisseur des plaques qu'en augmentant encore cette surface afin d'avoir un déplacement en rapport avec le nouveau poids à porter, on conclura que la lutte entre la cuirasse et le canon se présente dans des conditions plus avantageuses pour celui-ci. Car, étant donné un état de choses où il y a équilibre entre l'attaque et la défense, l'artilleur devra produire un effort moindre pour rompre cet équilibre à son profit, que l'ingénieur maritime.

Avant de passer outre, nous tirerons de la formule [5] la démonstration d'une proposition avancée chapitre 3, § 1er, à propos du système *Sandwich*. Supposons qu'on ait n plaques superposées ayant chacune l'épaisseur ε. Si l'on n'établit entre elles aucune liaison, la perforation de leur ensemble exigera une force vive proportionnelle à $n\varepsilon^{\frac{4}{3}}$. D'autre part la perforation d'une seule plaque ayant l'épaisseur $e = n.\varepsilon$, exige une force vive proportionnelle à $e^{\frac{4}{3}} = n^{\frac{4}{3}}.\varepsilon^{\frac{4}{3}}$, valeur plus grande que la précédente. Le système de plaques superposées, que quelques ingénieurs ont préconisé pour échapper aux difficultés de fabrication qu'entraînent les grandes épaisseurs,

et qui est très employé aux États-Unis, donne donc une résistance inférieure à celle fournie par la même épaisseur en plaque massive.

Cette conséquence théorique a été confirmée par l'expérience, mais l'infériorité de la plaque dédoublée n'est pas très considérable, comme le montrent les chiffres suivants, empruntés à des expériences faites à Gavre en 1877 :

Tir normal du boulet ogival en fonte dure de 32c :

Vitesse strictement nécessaire pour perforer : — une plaque unique de 44c, 440m,5; — deux plaques de 22c, 420m,7.

Rapport des résistances, mesuré par celui des forces vives dans les deux cas : 0,912.

Tir normal du boulet ogival en fonte dure de 32c :

Vitesse nécessaire pour perforer : — une muraille revêtue d'une cuirasse de 30c, 323m,5; — deux plaques de 15c, séparées par une épaisseur de chêne de 25c (muraille à la Sandwich), 334m.

Rapport des résistances : 0,97.

Etc.

II. — Plaque adossée à une muraille en bois.

Puisque w est la vitesse strictement nécessaire pour le passage, si le projectile arrive sur la plaque avec une vitesse plus grande V, non seulement il la traversera, mais encore il en sortira avec une certaine vitesse u, que nous obtenons de la manière suivante. Comme on suppose la résistance indépendante de la vitesse, il faut qu'il en soit de même de son travail, c'est-à-dire de la force vive qu'elle fait perdre au projectile. Celle-ci est donc la même, soit que le projectile arrive avec la vitesse w pour sortir avec la vitesse *zéro*, ou avec la vitesse V pour sortir avec la vitesse u; c'est-à-dire que l'on a

$$pV^2 - pu^2 = pw^2, \quad \text{ou} \quad V^2 = u^2 + w^2.$$

Si une muraille en bois se trouve au delà de la plaque, elle pourra être traversée à son tour en vertu de cette vitesse u. En appelant E son épaisseur, et prenant pour u la valeur strictement nécessaire au passage, on est conduit à adopter une relation analogue à [4], savoir

$$pu^2 = h'^2 . d . E^2.$$

Mais on y est moins autorisé : 1° parce que le rapport $\frac{E}{d}$ est ordinairement plus grand que $\frac{e}{d}$, ce qui augmente l'erreur commise en remplaçant la fonc-

tion $\varphi(x)$ par son premier terme $A_1 x$; 2° parce que la cohésion moléculaire est beaucoup moindre dans le bois que dans le fer, ce qui diminue l'aptitude de l'expression [1] à représenter la résistance soufferte par le projectile pendant le passage. Quoi qu'il en soit, des tirs exécutés contre de simples murailles en bois ont montré que la relation est admissible, et donné pour h la valeur 95, dont le carré est 9025.

La vitesse W strictement nécessaire pour traverser successivement une plaque en fer d'épaisseur e et une muraille en bois d'épaisseur E, *supposées indépendantes*, serait donc donnée par la formule

$$pW^2 = d\left\{2.073.600.\, e^{\frac{4}{3}} + 9025\, E^2\right\}.$$

Dans la réalité, il n'existe pas entre la plaque et la muraille l'indépendance supposée, et le mobile agit à la fois sur l'une et l'autre pendant un certain temps; pour tenir compte de cette circonstance, il faut faire un dernier appel à l'expérience, et elle a répondu que la formule peut être conservée à la condition de remplacer par 2.755.600 le premier coefficient. On a donc en définitive

$$pW^2 = d\left\{2.755.600\, e^{\frac{4}{3}} + 9025\, E^2\right\} \qquad [6]$$

Les épaisseurs e, E du fer et du bois sont toujours évaluées en *décimètres*, ainsi que le diamètre d du projectile.

Il ne faut pas oublier que ces raisonnements s'appliquent exclusivement aux projectiles ogivaux. En ce qui concerne les boulets cylindriques, on peut, avec une approximation qui paraît suffisante pour les besoins de la pratique, conserver la formule [5] telle quelle s'il s'agit d'une plaque isolée, et multiplier par $\frac{7}{6}$ le second membre de la formule [6] dans le cas d'une muraille cuirassée.

Ajoutons que les projectiles sont supposés n'être ni brisés, ni sensiblement déformés. Lorsqu'un projectile se brise en très gros fragments, la perforation peut encore avoir lieu et on a constaté qu'elle se fait souvent si la force vive d'arrivée est supérieure de 1/6 à la valeur donnée comme suffisante par les formules. Lorsque le nombre des fragments augmente, ce rapport augmente aussi très rapidement, et la perforation devient vite impossible.

III. — Tir oblique

Jusqu'ici on a supposé que le projectile arrive normalement à la plaque. Si, étant animé d'une vitesse V, il arrive suivant une direction faisant avec

la normale un angle i, la composante de la vitesse suivant cette normale est $V \cos i$. Il est clair que la muraille ne sera pas traversée si cette composante est inférieure à la vitesse W qu'exige la perforation dans le tir normal. Pour le passage, il faut donc que la vitesse V soit au moins égale à

$$\frac{W}{\cos i},$$

et l'expérience montre qu'il suffit qu'elle lui soit de très peu supérieure, pourvu que l'incidence reste au-dessous de 44°. Pour cette valeur, l'ogive devient tangente à la plaque, la pointe ne mord plus et la pénétration, si elle a lieu, suit une autre loi qui n'a pas été étudiée; mais, le plus souvent, le projectile ricochera et n'aura produit qu'un effet insignifiant. L'angle de 44° marque donc une limite qu'il convient de ne pas dépasser dans la pratique.

Si le tir oblique exige une plus grande vitesse d'arrivée que le tir normal, et s'il favorise beaucoup plus la rupture du projectile (Voir chap. 3, § 2), en revanche il présente certains avantages. Quand la pénétration est complète, les effets à l'intérieur sont toujours plus considérables, surtout avec les murailles en fer; quand elle ne l'est pas, les plaques sont déplacées dans le sens de l'obliquité du tir et disloquent ou brisent leurs vis d'attache.

§ 3. — TRAVAIL SPÉCIAL DE CHOC. DONNÉES DIVERSES

Divisons les deux membres de l'équation [6] par 2, par 1000 et par g. Nous aurons, exprimé en tonnes-mètres (mille kilogrammètres), le travail qui est fourni par le projectile et dévoré par la muraille dans l'acte de la pénétration, savoir :

$$T = \frac{PW^2}{2000\,g} = d\left\{140,45\,e^{\frac{4}{3}} + 0,460\,E^2\right\} \qquad [7]$$

La remarque faite dans le § précédent, que l'aptitude du projectile à surmonter la résistance de la plaque est inversement proportionnelle à la circonférence de sa section droite, nous conduit à diviser encore cette dernière équation par $\pi\, d$; nous la diviserons en outre par 10 pour que cette circonférence soit évaluée non plus en décimètres mais en centimètres, suivant l'usage adopté. Nous aurons alors *la force vive par centimètre de circonférence*, savoir :

$$t = \frac{PW^2}{20.000 \times \pi d g} = 4,470\,615\,e^{\frac{4}{3}} + 0,014\,642\,E^2. \qquad [8]$$

C'est cette grandeur qu'on appelle le *travail spécial de choc*, et qu'on prend, en la calculant par le second membre, comme *mesure de la puissance de perforation des projectiles*, et en la calculant par le troisième membre, comme *mesure de la puissance de résistance des murailles cuirassées*[1].

Lorqu'on veut comparer diverses bouches à feu et donner une idée sensible de leur puissance de perforation, on se contente souvent, par raison de simplicité et d'uniformité, de calculer le travail de choc pour le cas d'une plaque isolée, bien qu'il soit un peu abstrait. Les formules à prendre doivent alors être déduites de l'équation [5], et sont

$$T = \frac{PW^2}{2000\,g} = 105,682 \times d e^{\frac{4}{3}} \qquad [7']$$

$$t = \frac{PW^2}{20.000 \times \pi d g} = 3,364 \times e^{\frac{4}{3}} \qquad [8']$$

Nous donnons ci-après, en les empruntant au *Mémorial d'artillerie navale*, années 1875 et 1876, un tableau numérique et trois tableaux graphiques.

Le tableau numérique, qui n'est qu'un extrait, fait connaître quelques données relatives aux projectiles de rupture des principales artilleries européennes.

Le premier tableau graphique (fig. 134) représente en courbes les équations [8] et [8']; on a pris e pour abscisse et t pour ordonnée, et on a supposé $E = 8^d, 0$. Il a été annexé un petit tableau donnant la courbe analogue pour une muraille en bois non revêtue.

Le deuxième tableau (fig. 135) donne, pour les divers calibres de la marine française, les courbes des vitesses restantes en fonction des distances, et celle des pénétrations en fonction des vitesses. Les vitesses ont été calculées au moyen de la formule de M. Hélie en usage dans la marine française (voir les leçons sur la Balistique), et les pénétrations l'ont été au

1. — Bien entendu, les auteurs qui expriment la force vive de pénétration en fonction de l'*aire* de la section droite (voir page 130), appellent travail spécial de choc le quotient de T par $\frac{\pi d^2}{4}$. L'énoncé donné au haut de la page 130 peut alors être présenté ainsi : ***En prenant le décimètre pour unité de la pénétration, et le centimètre carré pour unité de la section droite, la première est, à un dixième près, égale au travail spécial de choc.***

moyen de la formule [6] ci-dessus. — Les deux séries de courbes sont disposées pour permettre la résolution instantanée de questions telles que les suivantes :

PROBLÈME I. — Un boulet de 16 centimètres et de 45 kilos ayant une vitesse initiale de 520 mètres, quelle est l'épaisseur de la plaque en fer forgé, reliée à une muraille en bois de 80^c d'épaisseur, traversée à la distance de 1,300 mètres?

Prendre A *correspondant à* 520^m *sur la courbe des vitesses restantes du boulet de* 16^c *et de* 45^k*; prendre à partir du point* A *et sur la droite la longueur* AB = $1,300^m$*; mener* BC, CD, DE. *Le point* E *correspond à* 133^{mm}.

Réponse. — L'épaisseur demandée est celle de 133 millimètres.

PROBLÈME II. — Pour percer à $1,300^m$ une muraille de 80^{mm} d'épaisseur revêtue de plaques de 133 millim., quelle vitesse initiale faut-il imprimer au boulet de 16^c et de 45^k?

Prendre E *correspondant à* 133^{mm}*; mener* ED *et* DC; *prendre à partir de* C *et sur la gauche la longueur* CG = $1,300^m$*; mener* GA *et* AH. *Le point* H *correspond à* 520^m.

Réponse. — La vitesse initiale doit être de 520^m.

PROBLÈME III. — Un boulet de 16^c et de 45^k ayant une vitesse initiale de 520^m, à quelle distance perce-t-il une muraille en bois de 80^{mm} d'épaisseur, revêtue de plaques de 133^{mm}?

Mener ED *et* DC, *et prolonger* CD *sur la gauche jusqu'à sa rencontre en* G *avec l'ordonnée du point* A *correspondant à* 520^m*; mesurer* CG *à l'échelle des distances, ce qui donne* $1,300^m$.

Réponse. — La distance cherchée est de $1,300^m$.

Enfin le troisième tableau (fig. 136) donne directement les pénétrations en fonction des distances. La cuirasse est toujours supposée reliée à un matelas en bois de chêne de $0^m,80$ d'épaisseur.

	CANON			Charge du canon, en kilogrammes.	BOULET OU OBUS de rupture (ogival).			
	Calibre, en décimètres.	Poids, en kilogrammes.	Prix, en francs.		Poids, en kilogrammes.	Vitesse initiale, en mètres.	1/2 force vive initiale, en tonnes-mètres.	Travail spécial de choc au départ, en tonnes-mètres par cm de circonférence.
France (1870).								
16^c	1.647	5 100	6 945	9.5	45	477	523	10.1
19	1.94	8 000	10 576	15.0	75	450	775	12.7
24	2.40	15 650	20 125	28.0	144	440	1 442	19.1
27	2.744	23 064	28 830	42.0	215	432	2 053	23.8
32	3.20	38 800	46 566	66.0	350	425	3 223	32.1
Angleterre (1872).								
7^{po}	1.78	6 576	16 500	13.6	52.2	465	576	10.3
8	2.031	9 000	20 900	15.87	81.6	431	773	12.1
9	2.286	12 193	25 900	22.7	113.4	433	1 083	15.1
10	2.54	18 290	28 650	31.7	181	416	1 594	19.8
11	2.794	25 412	40 700	38.6	243.3	401	1 935	22.7
12^{po}35to (*a*)	3.048	35 560	54 600	49.94	317.5	396	2 539	26.5
80^t dern. modèle	4.06	81 200	»	168.0	770	460	8 300	65.1
Allemagne (1872).								
15^c long (*b*)	1.491	4 000	28 000	8.0	35.5	444	357	7.6
17^c	1.726	6 100	42 700	11.5	55.8	475	642	11.8
21^c long	2.093	9 000	69 600	17.0	93	425	857	13.0
24^c long	2.354	15 500	108 500	24.0	139	420	1 250	16.9
26	2.60	22 000	154 000	32.0	188	422	1 707	20.9
28	2.80	27 500	192 500	52.0	125	425	2 072	23.5
30 1/2	3.05	36 600	256 200	60.0	296	465	3 261	34.8
Krupp, 40^c (1879).	4.000	72 000	»	200.0	776	494	9 674	77.0
Italie, 100^t 1876	4.350	103 130	400 000	155.0	908	454	9 520	70.1
Italie, 100^t 1879	4.508	101 050	»	249.5	917.2	523	12 772	90.2

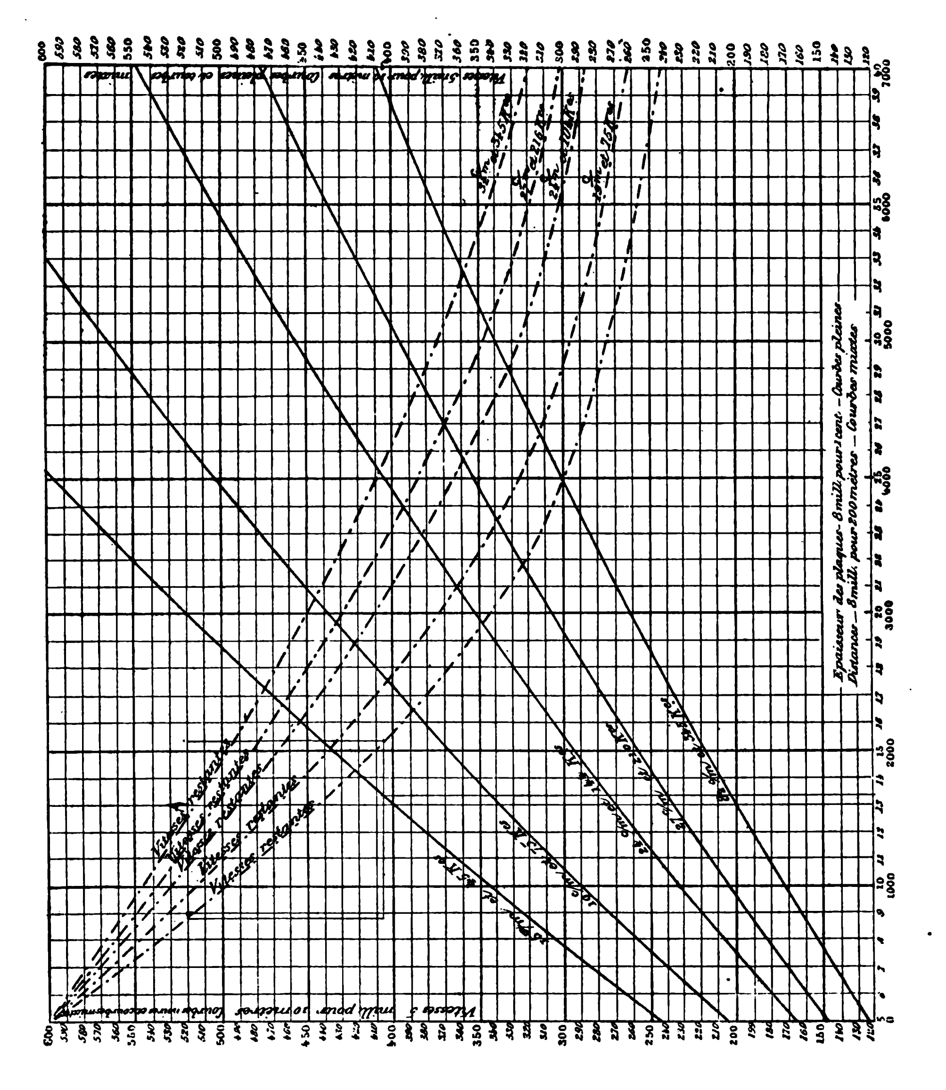
OBSERVATIONS
(*a*) L'Angleterre a aussi un canon de 12 pouces 25 tonnes.
(*b*) L'Allemagne a aussi des canons courts de 15^c, 21^c et 24^c.

Fig. 131. — *Pénétrations dans les murailles cuirassées.* — Trvaail spécial de choc, par centimètre de circonférence du projectile, nécessaire pour traverser des cuirasses d'épaisseur variant de 2 à 50 centimètres. (Tir normal).

Fig. 135. — *Vitesses restantes et pénétrations des boulets ogivaux des divers calibres de la marine française.*

Les courbes en trait mixte représentent, en fonction des distances, les vitesses restantes des boulets ogivaux des divers calibres de la marine.

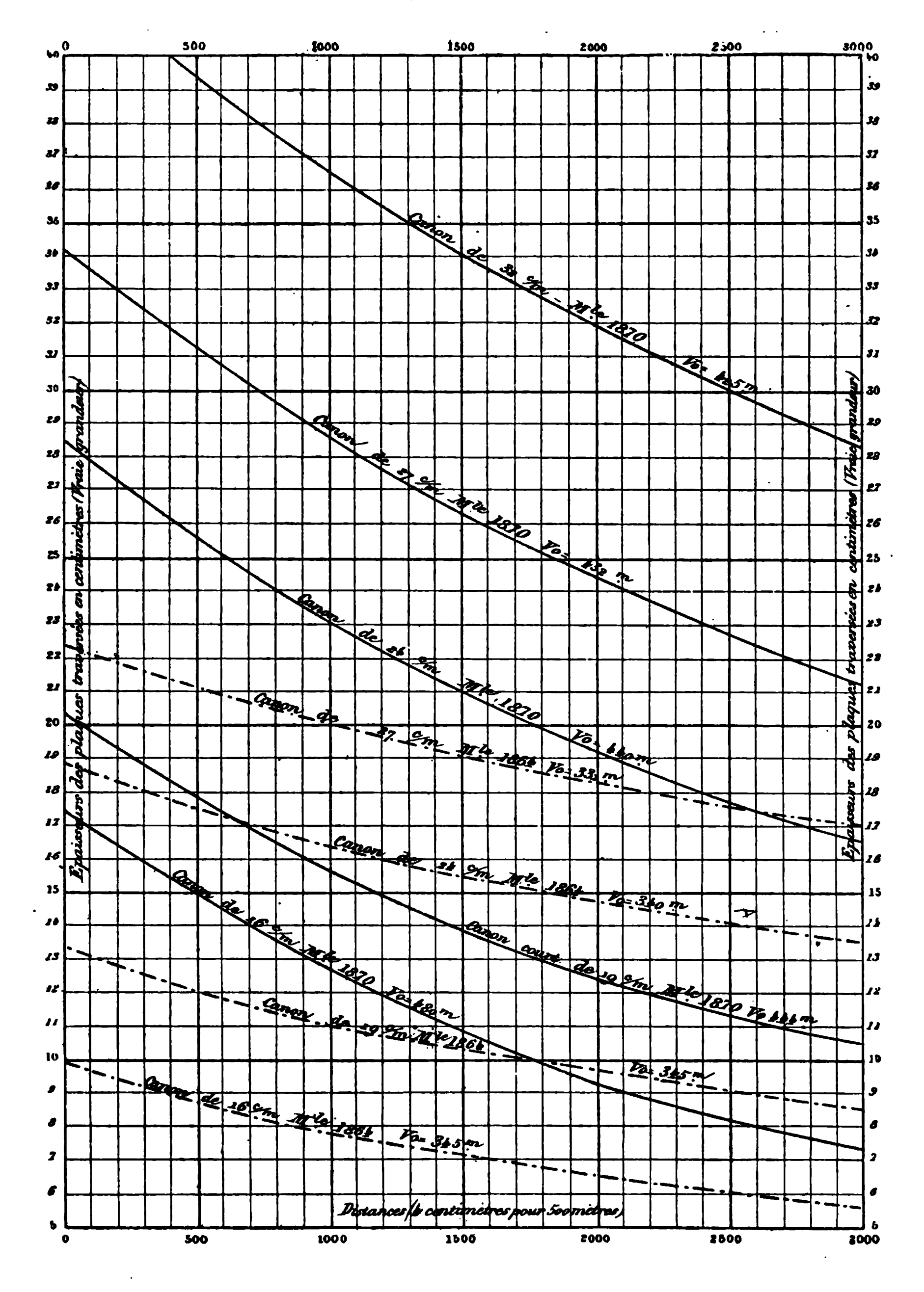
Les courbes en trait plein représentent, en fonction des vitesses au choc, les épaisseurs des plaques, reliées à une muraille en bois de chêne de 80c d'épaisseur, traversées normalement par les boulets ogivaux des divers calibres de la marine.



(Voir, à la fin du volume, l'erratum relatif à la figure 135.)

Fig. 136. — *Pénétrations dans les murailles cuirassées, entre 0 et 3000 mètres, des boulets ogivaux lancés par les canons de la marine française.*

(Tir normal.)



§ 4. — LOIS DE LA PÉNÉTRATION DES PROJECTILES DANS LES TERRES ET LES MAÇONNERIES.

La résistance que le projectile rencontre à chaque instant varie maintenant avec sa vitesse, et est donnée par la formule [2] du § 1. En appelant v la vitesse au temps t et x le chemin parcouru, l'équation des forces vives devient

$$\frac{P}{g} v dv = -f(v)\, dx = -\pi r^2 (a + bv^2)\, dx;$$

il en résulte, en appelant en outre V la vitesse d'arrivée, X la pénétration totale, et u, k deux constantes :

$$X = \frac{P}{g} \int_0^V \frac{v dv}{f(v)} = k . \frac{P}{\pi r^2} . \log \left(1 + \frac{V^2}{u^2}\right). \qquad [9]$$

C'est par les valeurs des constantes u et k, qui ont pris la place de a et b, que les divers milieux se différencient les uns des autres. Une longue série d'expériences faites à Metz vers 1834 en avait fait connaître les valeurs pour les projectiles sphériques et pour diverses espèces de bois, terres et maçonneries ; on en trouvera le tableau dans la *Balistique* du général Didion, en observant toutefois que, par suite d'une différence de notation, la valeur désignée par k dans ce tableau est les $\frac{3}{2}$ de celle désignée par la même lettre dans la formule [9].

Pour les projectiles oblongs, on peut faire usage des valeurs suivantes, mais elles ont besoin de contrôle, et nous les donnons sous toutes réserves.

MILIEUX				k	u
Bois	Chêne, hêtre			1.07	144m
Bois	Orme			1.40	144
Bois	Sapin			2.05	144
Terres	Sable mêlé de gravier			1.08	81
Terres	Terre	mêlée de sable et de gravier		1.45	81
Terres	Terre	légère	rassise	1.59	81
Terres	Terre	légère	fraîchement remuée	2.01	81
Terres	Terre	végétale rassise		2.53	81
Terres	Terre	argileuse	rassise	2.87	81
Terres	Terre	argileuse	rapportée	3.45	81
Terres	Argile	humide		4.00	81
Terres	Argile	mouillée		4.55	81
Maçonnerie	pierres de bonne qualité			0.46	123
Maçonnerie	briques			0.61	123
Maçonnerie	granit			0.28	123

Si l'on prend pour unité la profondeur de pénétration dans une *bonne maçonnerie*, on pourra exprimer celle dans de la *mauvaise maçonnerie* par 1,3 à 1,4, et celle dans du *granit* par 0,6.

Si l'on prend pour unité la profondeur de pénétration dans une *terre labourable bien damée*, celle dans *la même terre moyennement damée* sera 1,5, et dans *la même terre fraîchement remuée* 1,9; — celle dans l'argile sera 2 ou même davantage; — celle dans une *terre bien damée avec sable et gravier*, 0,9; — enfin celle dans le *sable*, 0,6.

On voit que le sable jouit d'une grande supériorité de résistance par rapport aux autres espèces de remblais, ce qui s'éloigne beaucoup des idées admises autrefois. Aussi est-il prescrit maintenant de l'employer autant que possible pour la construction des parapets ordinaires, et exclusivement pour les terrassements des ouvrages cuirassés.

Il est digne de remarque que l'effet de pénétration, surtout dans la terre, n'est guère plus grand pour les projectiles allongés que pour les boulets sphériques de même calibre. Cela tient à ce qu'aux distances de combat, les premiers ne se présentent pas par la pointe, mais de travers, et qu'une

fois entrés dans le milieu résistant, ils sont fortement déviés à cause de leur mouvement de rotation; dans des terrains sablonneux, on a souvent

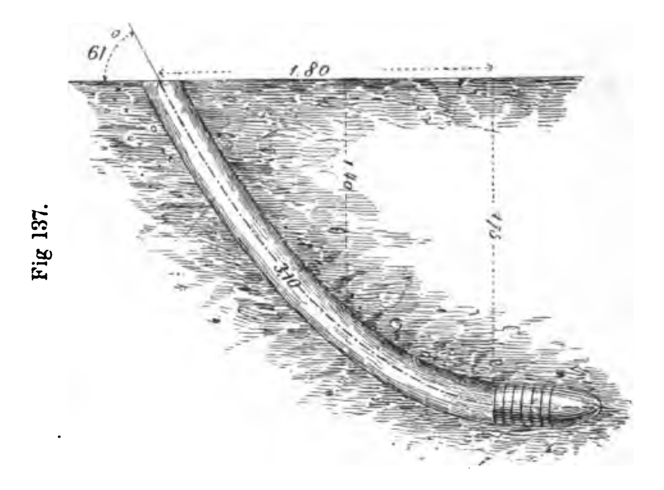


Fig 137.

retrouvé des projectiles oblongs qui, n'ayant pas éclaté, s'étaient complètement retournés vers la batterie d'où ils venaient.

Dans les tirs contre un parapet, il n'est pas rare de voir le projectile se relever dans le massif, et ressortir par en haut pour aller tomber une centaine de mètres plus loin.

Massif capable d'arrêter un projectile. — Le projectile, en refoulant la matière devant lui, désorganise le milieu à une distance plus grande que celle à laquelle il s'arrête; aussi, quand l'épaisseur du massif ne dépasse pas une certaine limite, on voit le projectile pénétrer plus profondément que lorsque cette épaisseur peut être considérée comme indéfinie. Pour qu'il soit arrêté et que les formules relatives à un milieu indéfini soient applicables, on admet, d'après quelques expériences, que l'épaisseur du massif doit être

pour les terres, d'au moins $\frac{3}{2} X$,

pour les bois, d'au moins $\frac{4}{3} X$,

X désignant la pénétration donnée par la formule.

Réflexion du projectile. — Si on diminue la vitesse en frappant toujours normalement, le projectile finit par ne plus pénétrer dans le massif et il peut même être repoussé en arrière. Il a paru naturel de prendre pour la limite à laquelle le projectile ne se fixe plus, la vitesse w pour laquelle la formule donne une profondeur de pénétration égale au calibre.

Si, au lieu de réduire la vitesse d'arrivée, on dirige la bouche à feu de manière à augmenter de plus en plus l'angle d'incidence, on finit encore par obtenir une réflexion. Cela arrivera lorsque la composante normale $V \sin i$ sera moindre que la vitesse w qui fait réfléchir le projectile dans le tir normal.

§ 5. — TIR CONTRE LES MAÇONNERIES.

Nous examinerons quelques points de détail avant de passer à l'exécution des brèches, qui est l'application la plus importante du tir contre les maçonneries.

I. — Projectiles isolés.

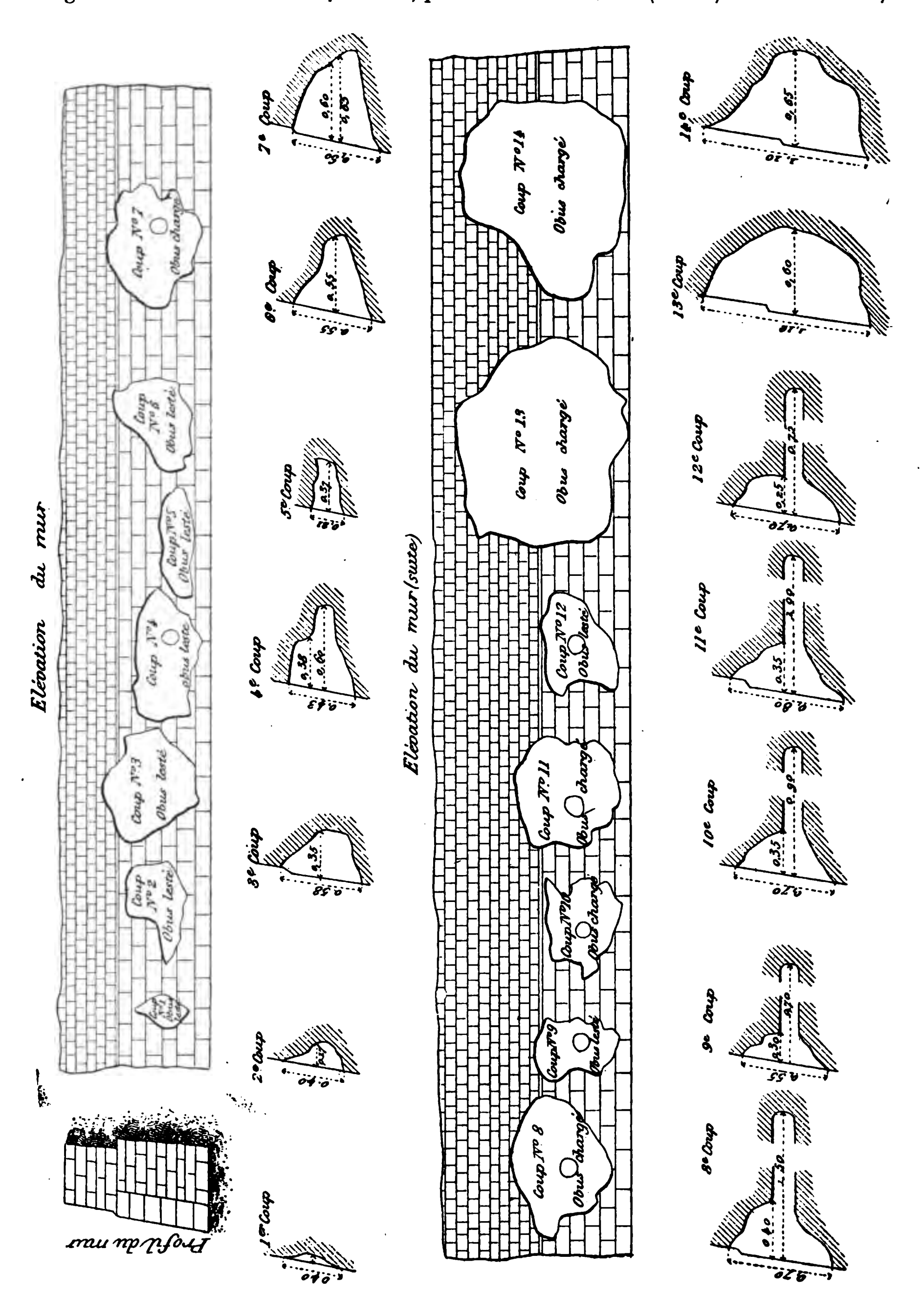
Le projectile qui pénètre dans la maçonnerie épaisse y produit un entonnoir composé de deux parties généralement bien distinctes. C'est d'abord un tronc de cône dont la grande base est sur le parement et la petite base au fond. Vient ensuite un canal cylindrique plus ou moins profond dont le diamètre est à peine supérieur à celui de l'obus (voir la fig. 138, coups 8 à 12). La profondeur du canal augmente avec la vitesse d'arrivée, mais l'effet sur le parement peut être moindre pour une vitesse d'arrivée plus grande.

L'obus *lesté* se brise souvent et il pénètre alors moins profondément; la pénétration des fragments augmente avec la charge de tir.

L'obus *chargé* ne donne pas à l'entonnoir plus de profondeur que l'obus lesté, mais il en augmente les dimensions transversales, et désorganise la maçonnerie sur un rayon plus grand. De même que dans le tir contre des plaques (voir chap. V, § 1), il ne faut pas que l'explosion se fasse avec trop de promptitude, afin qu'elle ne nuise pas à l'effet de pénétration. Une fusée trop vive serait donc vicieuse. On modère cette vivacité en interposant de la poudre tassée sur le trajet que les gaz de la composition fulminante doivent suivre pour se rendre dans l'intérieur de l'obus : leur arrivée est ainsi retardée, en même temps que leur quantité est augmentée.

Le tableau page 145 donne les résultats de quelques tirs faits à Calais en 1877 avec des obus de 120, de 138 et de 155. On y voit, pour les obus lestés, la profondeur de pénétration, et, pour les mêmes obus chargés, le volume de l'entonnoir, qui est exprimé en mètres cubes : c'est ce volume qui paraît être la meilleure mesure de l'effet total. Le tir était exécuté contre une escarpe en briques, de construction très ancienne, recouverte extérieurement à la base, sur un mètre de hauteur, par un placage en pierres dures, de $0^m,20$ d'épaisseur (voir le profil, à gauche de la fig. 138).

Fig. 138. — *Tir contre les maçonneries, par le canon de 120*^{mm}. (Calais, novembre 1878.)



Obus de	120mm	138mm	155mm	155mm modèle spécial
Poids de l'obus vide	16k,700	21k,100	38k,000	38k,850
Charge intérieure (poudre ordinaire)	0k,850	1k,130	1k,385	2k,000
Vitesse d'arrivée	374m	300m	356m	350m
Obus lestés — Nombre de coups tirés	2	1	2	2
Obus lestés — 1er coup — solidité	brisé.	brisé.	brisé.	brisé.
Obus lestés — 1er coup — pénétration	0m,37	0m,60	0m,70	1m,10
Obus lestés — 2e coup — solidité	brisé.	»	entier.	brisé.
Obus lestés — 2e coup — pénétration	0m,55	»	plus de 3m,50	1m,40
Obus chargés — Nombre de coups tirés	2	2	5	5
Obus chargés — Volume moyen de l'entonnoir	0mc,130	0mc,190	0mc,219	0mc,215

Suivant une pratique indiquée chap. IV, § 1, la pièce était à 6 mètres du mur, et la charge était calculée de manière à donner au projectile la vitesse qu'il possède à 1,500 mètres avec la charge de tir maximum.

La figure 138 représente quelques-uns des entonnoirs obtenus dans ce tir.

Enfin, nous donnons encore, dans le tableau qui suit, et d'après l'*Aide-mémoire* de l'artillerie autrichienne, les résultats de tirs analogues faits avec des projectiles de cette artillerie.

PROJECTILES		CHARGE	PORTÉE	VITESSE RESTANTE	ANGLE DE CHUTE	NATURE DE LA MAÇONNERIE	ENTONNOIR Profondeur	ENTONNOIR Hauteur extérieure	ENTONNOIR Largeur extérieure
		kilogr.	mètres	mètres			mètres	mètres	mètres
Artillerie autrichienne. — Obus lestés, de..	9c modèle 1861..	0.600	455	300.0	0°41′	Mur en brique de 1m,60, avec un remplissage en pierrailles de 0m,60 en son milieu.	0.63	0.37	0.34
	12c id......	1.100	Id.	294.6	0 45		0.82	0.58	0.45
	15c id......	2.150	Id.	292.0	0 47		1.00	0.63	0.66
	15c modèle 1873..	2.150	50	317.0	0°	Mur en grès de 2 mètres d'épaisseur; mortier incomplètement sec.	1.30	0.81	0.98
		0.850	Id.	188.0	0°		0.81	0.85	0.35
	12c modèle 1878..	1.100	33	304.6	0°	Mur d'escarpe d'un bastion. — Très bonne brique. — Maçonnerie de plus de cent ans.	0.74	0.64	0.74
		0.475	Id.	188.5	2°		0.38*	0.56	0.67
	15c modèle 1878..	2.150	33	307.6	1°		0.95	0.84	1.01
		0.890	Id.	180.9	0°		0.47*	0.90	0.81
		0.720	Id.	161.5	0°		0.39*	0.80	0.78
	21c à chemise mince de plomb..	5.000	33	217.8	1°36′		0.82*	1.37	1.44
		3.500	Id.	179.3	0°		0.75*	1.17	1.12
		2.000	Id.	129.9	1°		0.55*	1.03	1.25
		1.500	Id.	108.6	0°		0.46*	1.03	1.24
chargés, de	12c modèle 1861..	1.100	1.365	266	4°55′	Mur en brique de 1m,60 d'épaisseur, avec un remplissage en pierrailles de 1m,60 en son milieu.	0.37	0.71	0.50
			910	280	3° 3′		0.74	0.66	0.76
		0.560	1.320	182	10°54′		0.55	0.79	0.79
			1.365	181	11°14′		0.21	0.55	0.68
	15c modèle 1861.	2.150	1.365	269	4°55′		0.55	0.90	0.90
			910	280	3° 3′		0.90	1.26	1.29
		1.120	1.365	187	10°20′		0.37	0.90	0.50
	15c modèle 1873.	2.150	50	317	»	Mur en grès de 2 mètres d'épaisseur; mortier incomplètement sec.	1.10	1.80	1.80
		0.830	50	188	»		0.92	1.50	2.00

OBSERVATION. — Pour les pénétrations marquées d'un *, le projectile n'est pas resté dans la maçonnerie.

II. — Artillerie de campagne. — Tir contre des murs isolés.

L'artillerie de campagne a souvent besoin d'attaquer des murs de bâtiment ou de clôture, et c'est la destination principale de l'obus ordinaire. Pour connaître les effets sur lesquels on peut compter dans ces occasions, on construisit à Bourges, en 1875, un mur en moellons, de $0^m,70$ d'épaisseur et 3^m, 50 de hauteur. Derrière le mur étaient placés 20 panneaux de $0^m,50$ de largeur et 2 mètres de hauteur représentant autant de défenseurs debout, avec des intervalles de 1 mètre, sur deux rangs de dix, le premier à 1 mètre du mur, le second à 4 mètres du premier. Il y avait en outre, à 30 et 50 mètres du mur, deux rangées de panneaux contigus, de 10 mètres de large, représentant chacune un peloton de réserve. On tira à la distance de 2,000 mètres, et on trouva qu'il faut environ 30 obus de 5 ou de 7 pour démolir un pareil mur. Aucun des obus employés ne se brisa contre ou dans le mur; ils n'éclataient qu'après leur passage, et produisaient des effets meurtriers sur les défenseurs et les réserves. Les trous faits dans le mur étaient plus larges sur la paroi postérieure, laquelle se trouvait ainsi plus endommagée que celle d'attaque.

Des expériences analogues ont été faites à Calais, en 1878, avec le canon de 95 et ont conduit à des conclusions du même genre. Cette fois, on se proposa en outre de raser le mur par une démolition méthodique. Ce dernier tir fut exécuté à la distance de 300 mètres ; on pointait à 1 mètre de hauteur et, après chaque coup, on augmentait la dérive d'un millimètre, ce qui déplaçait de $0^m,37$ le point d'impact sur le mur. Celui-ci, qui avait $0^m,60$ d'épaisseur, 4 mètres de hauteur, 20 mètres de longueur, et était consolidé par trois contreforts en arrière, fut détruit en 12 coups.

Il a été remarqué que, pour se mettre à l'abri des projectiles armés de fusées percutantes, il suffirait à un groupe ennemi de se placer derrière le deuxième mur d'une maison quelconque : en effet les projectiles éclateraient entre les deux murs et ne pourraient pas traverser la maison. Il y a cependant un moyen de déjouer ce calcul et de frustrer l'ennemi de son abri : c'est de rendre les obus inexplosifs, soit en remplaçant la fusée par un tampon en zinc, soit, si la chose est possible, en enlevant son appareil percutant.

Des expériences faites à Bourges dans ces conditions en 1875 ont montré que le calibre de 5 est impuissant à obtenir ce résultat, mais qu'il n'en est pas de même pour celui de 7, à moins qu'on n'ait à faire à des constructions d'une solidité exceptionnelle. Avec ce dernier calibre, la plupart des projec-

tiles traversent les deux murs, tombent brisés de l'autre côté du second, projetant des éclats de pierre et leurs propres éclats jusqu'à 10 mètres et plus en avant. Quelques coups heureusement groupés ouvriront rapidement une large brèche, qui servira de passage aux projectiles suivants, et qui, en tous cas, diminuera la confiance de l'ennemi.

Mais le calibre de 7 serait à son tour impuissant pour avoir raison d'un troisième obstacle, et, par suite, une maison avec murs de refend parallèles à la façade offrirait un abri à peu près assuré, au moins pour quelque temps.

§ 6. — MAÇONNERIES (*Suite*). — TIR EN BRÈCHE.

Le tir en brèche a été l'objet d'un grand nombre d'expériences. Les plus célèbres sont celles de Bapaume en 1847, du fort Juliers (Prusse) en 1860, du fort Liédot dans l'île d'Aix en 1863-64, de Stettin en 1869, de Graudenz (Prusse) en 1873, etc. Aux résultats fournis par ces expériences systématiques, pour lesquelles on utilisait les escarpes de places devant être déclassées et démantelées, il faut ajouter quelques faits recueillis dans des sièges réels, particulièrement ceux de 1870; ils nous ont coûté assez cher pour qu'au moins nous en retirions les enseignements qu'ils renferment.

I. — Expériences de Bapaume[1]. — Méthode des trois rainures.

A Bapaume, treize brèches furent ouvertes par le canon et rendues praticables, soit avec le tir normal, soit avec le tir oblique. Bien que faites avec des canons lisses (c'étaient les canons de 12, 16 et 24), elles conduisirent au mode d'exécution qui est encore classique dans tous les pays, et que nous allons exposer.

1° *Largeur de la brèche.* — La largeur de 20 mètres est suffisante pour donner passage aux colonnes d'assaut. Il faut l'augmenter et la porter à 25 mètres ou 30 mètres : 1° si la fortification a un grand relief au-dessus du fond du fossé, parce que les terres formeront alors des talus latéraux qui, eu égard à leur hauteur, pourront rétrécir notablement le passage; 2° lorsqu'on devra, l'ouvrage une fois pris, y établir des batteries, parce

1. Le rapport de la commission de Bapaume a été imprimé et publié en 1852; il forme un vol. in-8° de 350 pages.

que, dans ce cas, il est nécessaire de faire, en travers de la brèche, une rampe suffisamment douce pour que les voitures d'artillerie puissent la gravir.

2° *Exécution de la brèche dans le cas du tir normal.* — On commence par former, sur toute la longueur qu'on veut donner à la brèche, une tranchée horizontale traversant, autant que possible, la maçonnerie de part en part. Cette tranchée doit être faite assez haut pour que les débris de maçonnerie qui s'amoncellent au pied du mur ne viennent pas la masquer, mais en même temps assez bas pour que les terres qui s'ébouleront suffisent à couvrir la partie du mur non attaquée et à former une rampe praticable. On satisfait en général à cette double condition en faisant la tranchée à une hauteur comprise entre le tiers et la moitié de la hauteur totale de l'escarpe, et la commission de Bapaume conseille de chercher, à moins de circonstances particulières, à se rapprocher de la première limite. Pour faire cette tranchée horizontale, on en répartit la longueur entre les pièces de la batterie. Chacune, agissant dans sa portion, doit tirer une série de coups isolés, distants entre eux de cinq à huit fois le diamètre du projectile, et espacés aussi également que possible ; elle tire ensuite une seconde série de coups dans les milieux des intervalles laissés par les premiers, et continue ainsi son feu jusqu'à ce que le revêtement soit coupé ou, du moins, jusqu'à ce qu'il soit creusé régulièrement sur plus des deux tiers de l'épaisseur totale qu'on lui attribue.

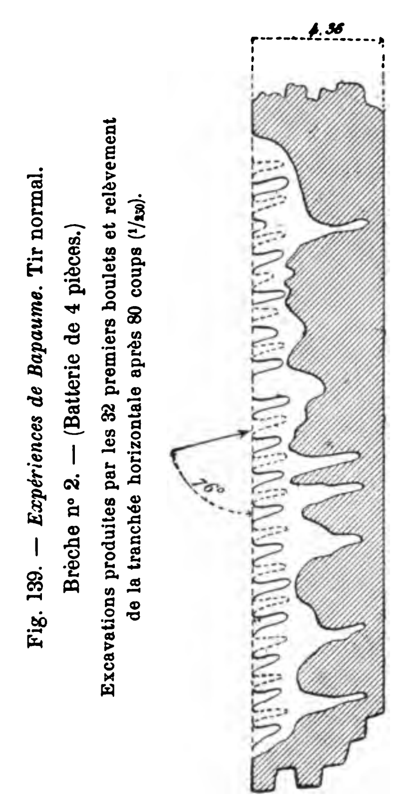


Fig. 139. — *Expériences de Bapaume.* Tir normal.
Brèche n° 2. — (Batterie de 4 pièces.)
Excavations produites par les 32 premiers boulets et relèvement de la tranchée horizontale après 80 coups (1/150).

On ouvre alors, suivant les mêmes principes, des tranchées verticales aux extrémités de la brèche ; on les commence par leur partie inférieure, et on les conduit d'abord avec lenteur de manière à les creuser complètement sur une hauteur d'un mètre environ. Ces tranchées verticales, qui doivent avancer également, sont faites par les pièces extrêmes et, pendant ce temps, les pièces intermédiaires continuent à approfondir la tranchée horizontale.

Presque toujours, le revêtement tombera avant que les tranchées verti-

cales soient terminées; s'il continue à tenir, on en déterminera la chute par quelques salves tirées au milieu du rectangle; au besoin, mais ce besoin ne se produira guère que si la brèche a plus de 20 mètres de large, ou si la partie du revêtement dans laquelle il faut l'ouvrir est curviligne ou polygonale, on fera une troisième tranchée intermédiaire avec les pièces du centre.

Une fois le revêtement tombé, on devra tirer encore quelques coups de canon pour débarrasser la brèche des blocs de maçonnerie qui peuvent l'obstruer, pour détruire les parties saillantes des contreforts, enfin, pour faire ébouler les terres du parapet qui, lorsqu'elles sont fortes, restent à pic et forment comme une nouvelle escarpe.

Fig. 140. — *Expériences de Bapaume.* Tir oblique.

Brèche n° 3. — (Batterie de 4 pièces.)

Excavations produites par les 32 premiers boulets et relèvement de la tranchée horizontale après 84 coups (1/200).

3° *Exécution de la brèche par le tir oblique.* — On peut augmenter l'angle d'incidence jusqu'à une soixantaine de degrés sans perdre beaucoup de l'efficacité du tir. Lorsqu'il approche de cette limite, les premiers coups ricocheraient sur la maçonnerie, et, pour ne pas en perdre beaucoup, on peut modifier de la manière suivante la méthode d'exécution de la tranchée horizontale. Chaque pièce dirige d'abord ses premiers coups sur l'extrémité de sa portion de tranchée qui est la plus près, de manière à produire une excavation dont le fond soit à peu près normal au tir; toutes les pièces continuent à tirer dans les ouvertures ainsi produites jusqu'à ce que ces ouvertures se rejoignent et ne forment plus qu'une seule coupure horizontale.

Si la maçonnerie est très dure, on pourra même diriger *toutes* les pièces sur l'extrémité la plus rapprochée de la batterie et commencer le feu par la pièce extrême dont le coup bat la muraille en ce point sous le plus grand angle; les autres pièces, tirant dans le trou ainsi commencé, l'agrandiront, et on continuera comme il vient d'être dit jusqu'à ce qu'on ait atteint la longueur et la profondeur qui doivent être données à la tranchée.

II. — Expériences du fort Liédot. — Méthode des gradins.

La commission du fort Liédot proposa de substituer la méthode suivante à celle de Bapaume. Diriger les premiers coups de manière à obtenir, comme dans celle-ci, une tranchée horizontale d'une profondeur aussi uniforme que possible, *mais seulement égale à la pénétration totale d'un projectile.* Exécuter une seconde tranchée, à $0^{m},50$ (petits calibres) ou 1 mètre (gros calibres) au-dessus de la première, en sorte qu'il ne reste pas de maçonnerie entre les deux. Tirer alors sur le fond de l'excavation et dans sa partie supérieure pour y déterminer une profondeur double et former en quelque sorte les deux premières marches d'un escalier. Relever ensuite le tir de la même quantité que précédemment, et tirer trois séries de coups à la même hauteur, de manière à faire un troisième gradin. Continuer ainsi en s'approfondissant davantage à mesure qu'on s'élève jusqu'à ce que la maçonnerie soit percée. Achever alors comme dans la méthode réglementaire.

Cette marche est assurément plus rationnelle que celle qui consiste à couper l'escarpe normalement au parement; elle fut suivie dans l'exécution de deux brèches, l'une avec le calibre de 12, l'autre avec celui de 24, et l'on constata qu'elle donne des abords un peu plus faciles. Malgré ce léger avantage, qui ne compense pas suffisamment une complication plus grande, on a pensé qu'il n'y avait pas lieu de renoncer à l'ancienne méthode tant

qu'il s'agit d'une fortification ordinaire non voûtée. Mais si la fortification attaquée a des voûtes, ou si l'on n'est pas sûr qu'elle n'en a pas, il faudra

Fig. 141. — *Exécution des brèches à petite distance :*

Méthode réglementaire, adoptée à la suite des expériences de Bapaume (1852).	Méthode proposée par la commission du fort Liédot (1863).

1ère Tranchée

préférer la méthode nouvelle, et, en l'appliquant, commencer plus haut que l'indiquait la commission de Bapaume, c'est-à-dire peu au-dessous du milieu de la hauteur. Ordinairement les voûtes seront ainsi ménagées; tandis qu'avec l'ancienne méthode, il est presque impossible qu'il ne s'y produise pas de trouées, et alors il peut arriver deux choses : ou les terres du parapet, s'engouffrant dans ces trouées, seront perdues pour la rampe, ou elles resteront debout, et il sera excessivement difficile de les faire tomber, parce que leur support offre peu de prise aux coups.

III. — Expériences du fort Liédot (*suite*). — Tir à démolir.

Lorsqu'on est trop loin pour voir l'escarpe et être en mesure de régler son tir avec la précision qu'exigent les deux méthodes que nous venons d'exposer, on est obligé d'exécuter la brèche par le tir plongeant ou indirect. La marche à suivre, qui a été indiquée et pratiquée par la commission du fort Liédot, repose sur le même principe que la seconde méthode. C'est ce qu'on appelle aujourd'hui le *tir à démolir*, mot venu d'Allemagne.

Il faut toujours, pour avoir une brèche praticable ou susceptible de le devenir, couper le revêtement à une distance de la magistrale au moins égale à la moitié de la hauteur totale de l'escarpe. Cela étant, si l'on veut faire brèche à une distance donnée *D*, on détermine d'abord, d'après le profil de la fortification, l'inclinaison finale que doit avoir la trajectoire moyenne pour qu'en rasant la crête couvrante elle aille frapper l'escarpe à la hauteur voulue; puis on cherche l'angle de tir et la charge qui, pour la distance *D*, donnent cette inclinaison finale. On peut commencer à tirer avec ces conditions; cependant on fera bien, au lieu de diriger la trajectoire moyenne *sur* la crête couvrante, de la diriger *au-dessus* de cette crête d'une quantité égale à une certaine fraction de l'écart probable en hauteur, de manière à faire arriver sur l'escarpe la partie centrale du faisceau des trajectoires (§ 1), partie qui est la plus dense et qui, autrement, serait coupée juste en son milieu par la masse couvrante. Lorsqu'on jugera le revêtement assez profondément entamé sur le point attaqué, on diminuera un peu l'angle de tir, en augmentant la charge en conséquence, de manière à frapper une bande horizontale plus élevée, et on continuera ainsi jusqu'à ce que la tranchée arrive, soit à la partie visible de l'escarpe, s'il y en a, soit au parapet; on prendra alors le tir de plein fouet, avec lequel on achèvera la brèche.

A raison de la dispersion des coups, chaque bouche à feu abat ainsi une bande verticale d'une certaine largeur, pour laquelle on peut prendre de trois à quatre fois l'écart probable en direction. D'après cela, il sera facile de déterminer combien de bouches à feu il faut mettre en batterie et comment il faut les diriger pour obtenir simultanément un certain nombre de brèches partielles, qui se confondront en une seule ayant la largeur voulue.

Par la méthode que nous venons d'exposer, la commission du fort Liédot exécuta onze brèches, à des distances comprises entre 700 et 1,200 mètres. C'est encore ainsi qu'à Soissons, en octobre 1870, les Allemands firent, à la distance de 1,700 mètres, une brèche qui aurait été suffisamment praticable. Des brèches faites à de pareilles distances, avant que les chemine-

ments soient bien avancés et souvent en dehors des attaques régulières, ne sont évidemment pas destinées à un assaut immédiat. Mais elles agissent d'une manière très défavorable sur le moral des défenseurs; elles tiennent suspendu sur leurs têtes le danger d'une surprise et sont ainsi pour eux une cause permanente de fatigues; enfin, elles fournissent à l'assaillant le moyen de diviser l'attention et les forces de l'assiégé au moment critique où l'assaut serait donné sur les fronts régulièrement attaqués.

IV. — Quantité de munitions nécessaire pour exécuter une brèche.

Pour estimer la quantité de munitions que nécessite une brèche praticable, on peut partir de cette donnée expérimentale que chaque tonne-mètre de force vive transportée par le tir contre l'escarpe représente en maçonnerie abattue 2,500 centimètres cubes pour les maçonneries fortes, et 6,000 pour celles de qualité inférieure.

Soit T la quantité de force vive qui, d'après cela, correspond au cube total de la brèche, et soient en outre :

m la masse du projectile,

v sa vitesse restante, estimée normalement à l'escarpe, et supposée assez grande pour qu'il ne soit pas repoussé (§ 4),

p la probabilité d'atteindre la brèche, calculée comme il est dit § 1.

Si on tire N coups, la force vive probable apportée devant l'escarpe sera (voir chap. VII, § 5)

$$Np \times \frac{1}{2} mv^2,$$

et en posant

$$N = \frac{1}{p} \cdot \frac{2T}{mv^2},$$

on aura le nombre de coups pour lequel il y a la plus grande probabilité que la brèche sera faite sans qu'il ait été tiré de coups superflus.

Lorsqu'on change la distance D, les seuls facteurs qui varient dans cette expression de N sont p et v^2. Si on calcule les valeurs du produit pv^2 pour diverses valeurs de la distance D, et si on construit une courbe en prenant celles-ci pour abscisses et celles-là pour ordonnées, la courbe aura souvent un point culminant. L'abscisse correspondant à ce point est la distance à laquelle il serait le plus avantageux d'établir la batterie de brèche, abstraction faite de toute autre considération. Voilà l'explication de ce fait, qui étonna un peu la première fois qu'il fut énoncé, que l'exécution de la brèche peut être rendue plus rapide en augmentant la distance.

Pour des maçonneries en briques de 2 mètres d'épaisseur et avec des obus de 15ᶜ, possédant à l'arrivée une vitesse d'environ 200 mètres, il faut environ 50 coups bons par mètre courant de brèche praticable.

C'est au moyen de ces données et de ces principes que l'officier chargé d'exécuter une brèche par le tir plongeant pourra former quelques présomptions sur les effets de son tir. Bien entendu, il ne devra négliger aucun moyen permettant de s'en rendre compte par l'observation directe. Enfin, les remarques suivantes lui fourniront aussi d'utiles indications :

1° Le choc des projectiles et leur explosion donnent un bruit éclatant lorsque la maçonnerie est encore solide; le bruit devient sourd et mat lorsqu'elle est traversée ou près de l'être;

2° Tant que le mur n'est pas encore coupé à fond, des pierres et des débris de maçonnerie sont souvent lancés à une grande hauteur au-dessus du fossé;

3° Le nuage de fumée produit par l'explosion apparaît plus vite suivant que le mur est plus ou moins profondément entamé. Il est blanc-bleuâtre et pelotonné en masse compacte, comme l'est d'ordinaire la fumée de la poudre, tant que la maçonnerie n'est pas encore traversée de part en part. Quand elle l'est, la fumée prend une couleur grise foncée, et monte lentement, comme si elle sortait d'une cheminée.

V. — Brèches de Strasbourg et de Paris, en 1870.

Au siège de Strasbourg, les Allemands pratiquèrent trois brèches par le tir plongeant exécuté à des distances de 700 à 800 mètres, avec des angles de chute de 8°, 4°30′ et 4°. Grâce à la précision des bouches à feu, on put suivre exactement la méthode de Bapaume, en faisant une tranchée horizontale vers le tiers de la hauteur de l'escarpe, et une tranchée verticale à chacune de ses extrémités. L'observation des coups étant impossible, on commençait par régler le tir sur une partie visible de l'ouvrage à battre, et on n'y mettait pas moins d'un jour entier. Puis, en modifiant les hausses verticale et horizontale d'une petite quantité calculée avec la table de tir, on transportait le point d'impact à une extrémité de la tranchée horizontale. On exécutait celle-ci en maintenant la même hausse verticale pendant tout le temps et changeant la dérive qu'on inscrivait immédiatement sur des tableaux numériques et graphiques dits *de relevé des coups*.

Les rainures verticales étaient ensuite entreprises en maintenant, au contraire, la direction fixe et faisant varier la hausse verticale.

Fig. 142. — *Profil de la brèche de la face droite de la lunette 53, à Strasbourg. (Éch. 1/400).*

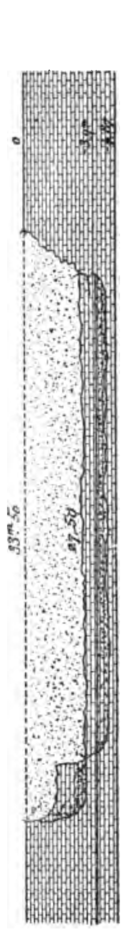


Fig. 143. — *Vue de la brèche de la face droite de la lunette 53. (Éch. 1/400).*

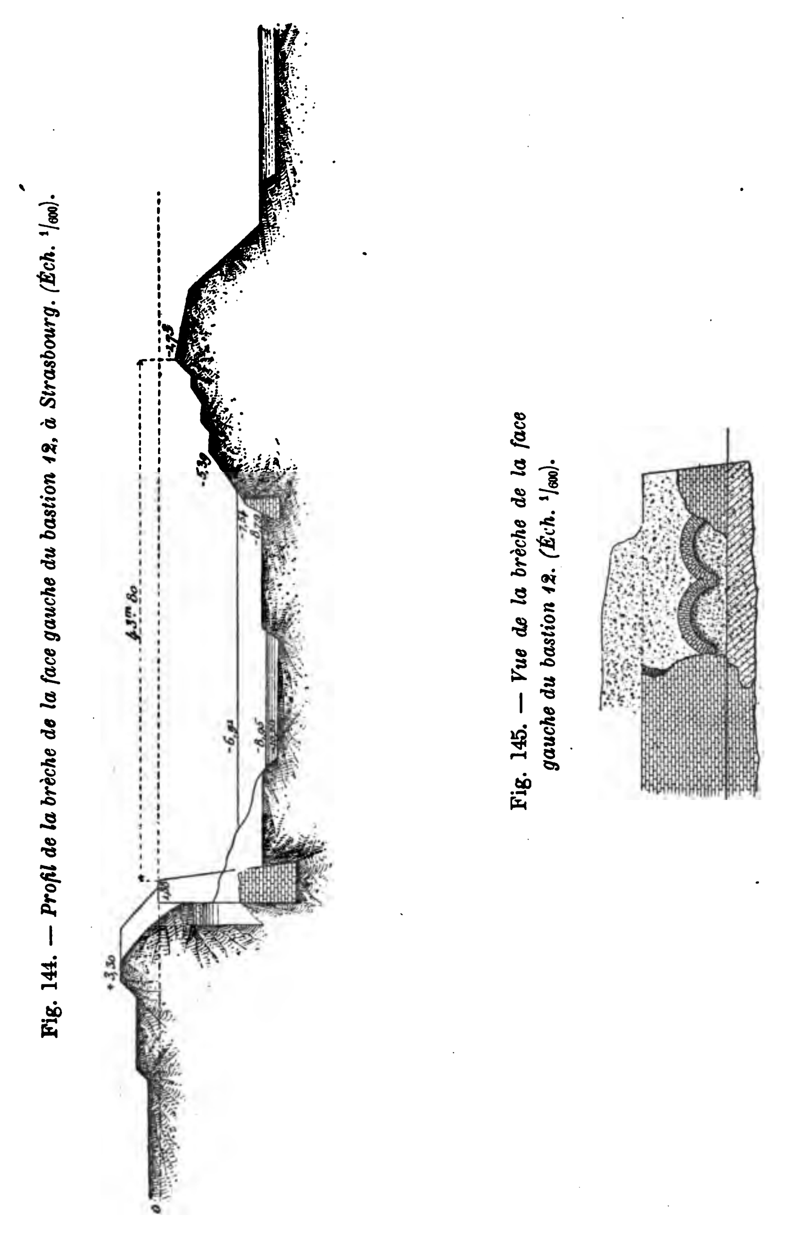


Fig. 144. — *Profil de la brèche de la face gauche du bastion 12, à Strasbourg. (Éch. 1/600).*

Fig. 145. — *Vue de la brèche de la face gauche du bastion 12. (Éch. 1/600).*

Bien entendu, on prolongeait ces divers tirs plus que ne l'indique la formule donnée ci-dessus, afin de tenir compte d'accidents imprévus. Une des brèches (lunette 53, figures 142 et 143), de 18 mètres de large, avec un talus d'éboulement de 35°, fut faite en quatre jours et coûta 1,000 projectiles environ. A la seconde (bastion 11), les trois tranchées ayant été faites régu-

lièrement sans qu'on pût observer directement l'effet produit, le mur s'éboula dans le fossé après une dépense d'environ 600 projectiles en 18 heures; on s'en tint là et on s'abstint de faire tomber les terres. A la troisième brèche (bastion 12, figures 144 et 145) le revêtement s'éboula après une dépense de 465 projectiles; les tranchées verticales étaient bien nettes, mais les terres du rempart se maintenaient à pic, et il aurait été très long et très difficile de les mettre en talus, parce qu'elles étaient retenues par deux voûtes en décharge[1].

Les Allemands se heurtèrent encore à des voûtes en décharge dans la brèche qu'ils entreprirent au fort d'Issy, à Paris. Trois batteries ayant ensemble 20 pièces de 24, et situées respectivement à des distances de 2,400, 2,200 et 1,600 mètres, parvinrent à démolir le mur de masque de deux casemates et entamèrent le contre-mur en pierres sèches et sacs à terre que l'assiégé avait édifié à l'intérieur des casemates. Mais les têtes de voûte et les piédroits, qui n'offraient aux projectiles qu'un but difficile à atteindre, résistèrent parfaitement, et le massif du parapet ne cessa pas d'être maintenu. Les Allemands ayant concentré leur tir sur ce parapet, tout le résultat se borna, vers la fin du siège, à faire tomber un peu de terre dans le fossé. Leur tir avait duré treize jours et il fut souvent très vif. Les inquiétudes, bien légitimes, quoique peut-être exagérées, que la situation du fort inspirait à la garnison, et les fatigues excessives qui en furent la conséquence, justifient la proposition avancée plus haut sur l'utilité des brèches faites à distance.

§ 7. — TIR CONTRE LES TERRES.

Pour un projectile tiré isolément, l'effet du tir résulte de la pénétration et de l'éclatement. Il a été question de la première dans le § 4. Le second paraît être à peu près indépendant de la forme et de la position du projectile, et être analogue, sauf un coefficient tenant compte de la résistance de ses parois, à celui d'un fourneau de mine. On pourrait donc employer pour les entonnoirs des projectiles les formules dont se servent les mineurs, en y introduisant un coefficient qui serait à déterminer expérimentalement pour chaque espèce d'obus.

Lorsque la profondeur de pénétration est trop grande par rapport à la

1. Voir pour plus de détails : *Revue d'artillerie*, octobre 1873, pages 1-30.

charge d'éclatement, l'effet est celui d'un fourneau sous-chargé. Dans ce cas, il faut diminuer la charge si l'on tire contre un but vertical, ou l'angle quand le but est horizontal.

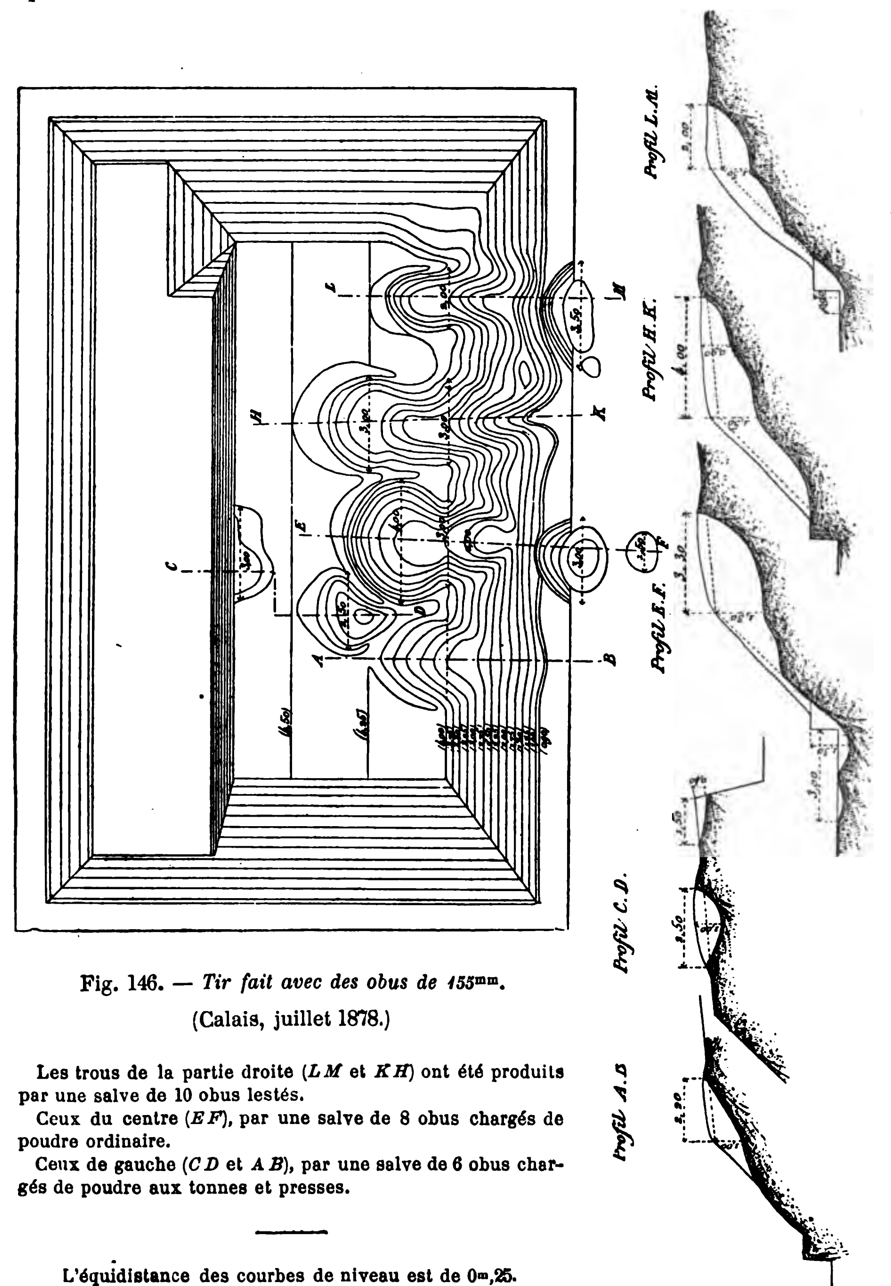


Fig. 146. — *Tir fait avec des obus de 155*^{mm}.

(Calais, juillet 1878.)

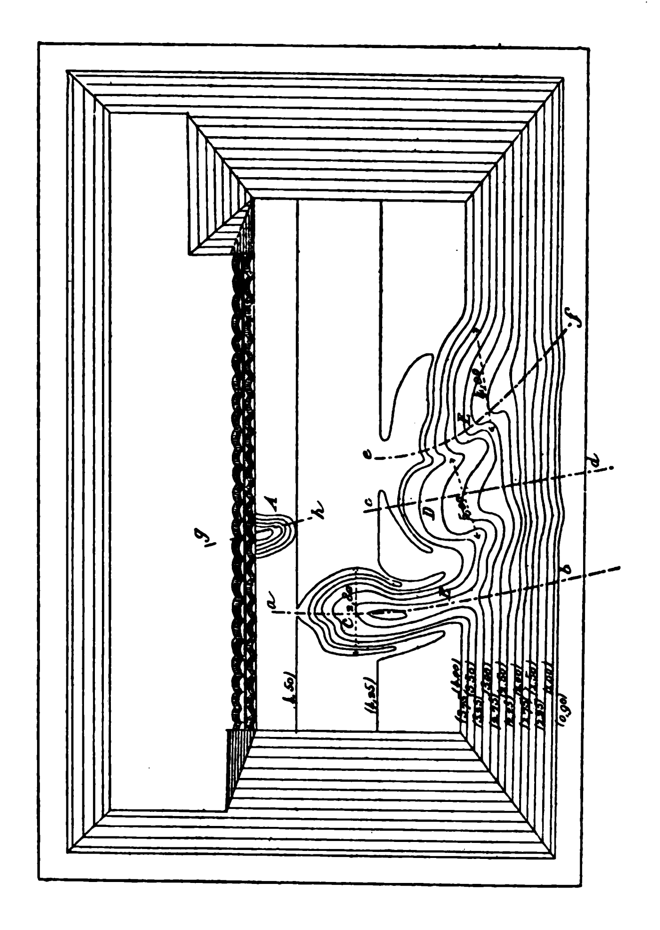
Les trous de la partie droite (*LM* et *KH*) ont été produits par une salve de 10 obus lestés.

Ceux du centre (*EF*), par une salve de 8 obus chargés de poudre ordinaire.

Ceux de gauche (*CD* et *AB*), par une salve de 6 obus chargés de poudre aux tonnes et presses.

L'équidistance des courbes de niveau est de 0^{m},25.

Les figures 146 et 147 montrent l'effet produit sur un épaulement en sable, par des tirs exécutés à Calais, en 1878, à la distance de 3,000 mètres, avec les canons de 120, 155 lourd, 19^{c}, 22^{c} et 24^{c}. On mesura les volumes de quelques entonnoirs, qui sont donnés dans le tableau page 161.



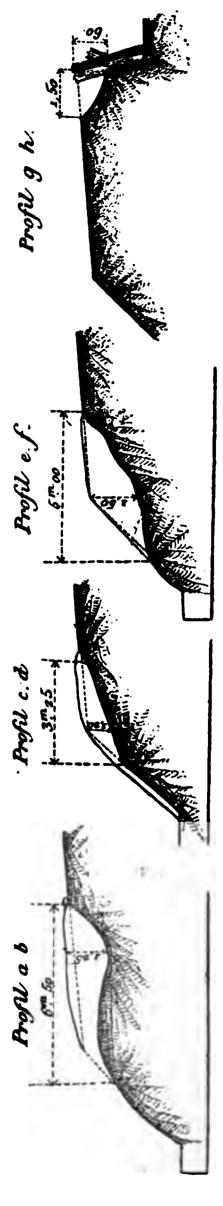


Fig. 147. — *Entonnoirs produits par des obus de 155^{mm}, 220^{mm} et 24 ^{cm}.* (Calais, juin 1878.)

A. — Un obus de 155, chargé.
B, C, D. — Obus de 220, chargés.
E. — Un obus de 24^{cm}, lesté.

L'équidistance des courbes de niveau est de 0^{m},25.

Bouches à feu....	120mm	155 lourd	19c	22c	24c	
Obus	de Bange	mle 1877	Lahitolle	de Bange	mle B	mle A
Poids de l'obus vide.	16k,700	38.000	70.750	85.000	114.700	147.000
Charge intérieure*	0k,850 T	1.385 ord.	3.500 ord.	5.400 ord.	5.200 ord. 6.200 T	5.000 ord.
Volume de l'entonnoir, en mètres cubes.....	1.083	2.600	7.000	9.000	10.000	10.000

* Ord. veut dire : poudre ordinaire.
T veut dire : poudre aux tonnes et presses.

En ce qui concerne les entonnoirs de la deuxième figure, il faut observer, avec la commission de Calais, que ces résultats donnés par des coups isolés et placés dans les meilleures conditions seraient moins satisfaisants dans la réalité, lorsqu'on exécute le tir par salves. Alors en effet les trous faits par les premiers projectiles sont comblés en partie par le sable que projettent les suivants.

Le tableau montre que le volume de l'entonnoir augmente avec le calibre. Mais ce volume ne donne qu'une mesure imparfaite de l'effet utile du tir, lequel augmente dans une proportion plus forte. Ce fait tient à ce que les obus de gros calibre bouleversent les terres plus profondément que ceux de calibre inférieur, et on en a la preuve par le temps employé à la réparation des dégâts. Tandis qu'il suffisait de quelques minutes pour remettre l'épaulement en état après le tir d'un obus de 120mm ou de 155mm, il fallait le travail de huit hommes pendant une heure pour combler l'entonnoir produit par un obus de 22c ou de 24c.

Il résulte encore du tableau précédent que *par kilogramme de charge intérieure l'obus remue environ deux mètres cubes de terre;* d'autres documents donnent le chiffre de 2mc, 4.

Pour faire brèche à un ouvrage en terre, il faut prendre le calibre le plus élevé possible, et préférer un canon de gros calibre à plusieurs de calibre inférieur. Puis, on commence par le haut de manière à abattre l'ouvrage graduellement depuis la plongée jusqu'à la base; par ce moyen la terre est

dispersée, tandis que si l'on commence par le bas, elle retombe en partie dans l'ouverture déjà commencée.

Il résulte d'expériences faites à Tarbes (Rapport du 7 avril 1877) qu'avec un tir ainsi conduit et convenablement exécuté, le canon de 138 perce en un nombre peu considérable de coups un épaulement de 8 mètres d'épaisseur à une distance inférieure à 3,000 mètres. Ce procédé doit être employé de préférence au tir plongeant pour atteindre les abris placés derrière l'épaulement.

La terre, surtout celle qui est sablonneuse, donne aux défenseurs une meilleure protection que la maçonnerie; mais l'une et l'autre sont d'une inefficacité absolue en présence des pièces de gros calibres. Les exemples les plus frappants nous en sont fournis par la guerre de la sécession, où les forts Sumter, Morgan, Philipps et Jackson furent réduits à l'état de débris informes par les escadres fédérales. Un officier qui avait pris part à la défense de ce dernier raconte ainsi l'aspect qu'il présentait après sa reddition. « Le terrain était tellement sillonné par les bombes qu'on l'aurait pu croire perforé dans tous les sens par des milliers de mastodontes antédiluviens; les excavations mesuraient de 3 à 8 pieds de profondeur, et étaient distantes les unes des autres de 2 à 3 pieds au plus; on ne voyait, sur toute l'étendue du fort, pas un morceau de bois qui ne fut carbonisé; les murailles n'avaient plus aucune forme; les canons gisaient à terre plus ou moins endommagés, et le tout présentait une scène de désolation indescriptible. »

Aussi l'ingénieur militaire a été forcé d'entrer à son tour dans la voie ouverte par l'ingénieur maritime, et nous le voyons cuirasser le devant des casemates qui renferment les canons, ou loger ces canons dans des tourelles métalliques tournantes, quand ils ont besoin d'avoir un grand champ de tir. Mais on ne peut pas opérer ainsi sur une grande échelle, car, si le pouvoir protecteur du métal peut être évalué à 40 fois environ celui de la terre, son prix de revient est au moins deux mille fois plus élevé.

Les dispositifs employés dans ces constructions ont été décrits ailleurs. C'est surtout à leur intention que l'artillerie de terre a pourvu tous ses canons, dont le calibre est supérieur à 15[c], de boulets de rupture analogues à ceux de la marine.

En ce qui concerne les effets du tir dans ces circonstances, nous n'avons rien à ajouter à ce qui a été dit dans les premiers §§ du présent chapitre.

CHAPITRE NEUVIÈME

TIR CONTRE DES TROUPES

Sur des troupes, le tir de l'artillerie produit deux espèces d'effets : l'effet moral, qui a souvent eu d'importantes conséquences tactiques, et l'effet réellement meurtrier. Le premier, cité ici pour mémoire, résulte de la gravité des blessures que font les projectiles de l'artillerie, du bruit et de la fumée qui accompagnent leur explosion, du bruit que fait le canon lui-même, etc. Le second est dû surtout à l'*éclatement*, qui, au point de vue de l'organisation du projectile en lui-même, a déjà fait l'objet principal des chapitres 4, 5 et 6.

Pour étudier les effets d'éclatement, on fait d'abord éclater les obus au repos, puis dans des tirs réels dirigés contre des panneaux.

§ 1. — ÉCLATEMENT AU REPOS.

Il y a toujours, dans les polygones des commissions d'expériences, un abri spécial servant à étudier le mode de rupture des projectiles. C'est un puits circulaire, appelé *puits d'éclatement*, ayant de 3 à 4 mètres de profondeur et autant de diamètre. Sa paroi est une muraille recouverte de madriers verticaux, qui peuvent facilement être remplacés. Il est recouvert par des lambourdes jointives mobiles, qu'on déplace en partie, après l'éclatement du projectile, pour permettre à la fumée de se dissiper plus rapidement. On y accède par une galerie souterraine.

Le projectile soumis à l'expérience est suspendu au milieu du puits au moyen d'un fil de fer partant du plafond, et on y met le feu par l'électricité (coup de poing Bréguet). Les précautions les plus minutieuses doivent être prises pour éviter les accidents; il faut, en particulier, que le courant ne risque pas d'être lancé en un moment inopportun et, pour cela, que personne, si ce n'est l'officier responsable, ne puisse ouvrir la caisse renfermant les piles.

Les éclats produits par l'explosion sont ramassés avec soin, pesés et divisés en catégories, suivant que leur poids est

supérieur à 500 gr.
de 400 à 500 —
de 300 à 400 —
de 200 à 300 —
de 100 à 200 —
de 50 à 100 —
de 25 à 50 —
inférieur à 25 —

, ou, plus sommairement :

supérieur à 300 gr.
de 50 à 300 —
de 25 à 50 —
inférieur à 25 —

.

C'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres inscrits dans le tableau suivant :

PROJECTILES	GROS ÉCLATS (au-dessus de 500 grammes)	MOYENS ÉCLATS (de 300 à 50 grammes)	PETITS ÉCLATS (de 50 à 25 grammes)	ÉCLATS INSIGNIFIANTS (au-dessous de 25 grammes)	TOTAL DES ÉCLATS UTILES	OBSERVATIONS
Obus de 5, charge 210 gr., poudre ordinaire. — NT..	2.25	20.75	2.75		25	NT veut dire : obus n'ayant pas été tiré.
Obus de 7, charge 350 gr., poudre ordinaire. — NT..	6.4	17.6	3.2		27	T veut dire : obus ayant été tiré avec un tampon en zinc.
Obus de 80^{mm}, modèle 1877..	»	»	»		»	
Obus de 90^{mm}, modèle 1877.	»	»	»		»	——
Obus de 95^{mm}, charge 370 gr., poudre C..................	13.2	20.5	10.3	21.2	44	Ces expériences sont antérieures à l'adoption de la poudre pour projectiles creux dont il a été question, chapitre 4, § 1, II.
Obus de 138^{mm}, charge $1^k,730$, poudre ordin. NT	34	38.5	7.5	2.5	80	
Obus de 138^{mm}, charge $1^k,730$, poudre ordin. T	18.5	9	2	8	30	
Obus de 120^{mm}.............	»	»	»	»	»	
Obus de 155^{mm}.............	»	»	»	»	»	

Le puits d'éclatement de la commission qui siégeait autrefois au camp de Châlons était creusé dans une terre argileuse, et avait sa paroi recouverte d'une épaisse couche d'argile. On pouvait alors, pour chaque éclat ou balle, évaluer le volume de l'empreinte et en déduire la force vive de l'éclat, car ces deux éléments sont proportionnels l'un à l'autre. On commençait par tarer l'argile en y tirant, avec une vitesse connue, une balle de pistolet : Si on appelle, pour un éclat ou balle, P son poids, V sa vitesse, A le volume

de son empreinte, et, pour la balle de pistolet, p, v, a les grandeurs homologues, on a

$$\frac{PV^2}{A}=\frac{pv^2}{a},\quad \text{d'où}\quad V=v\sqrt{\frac{A}{a}\cdot\frac{p}{P}}.$$

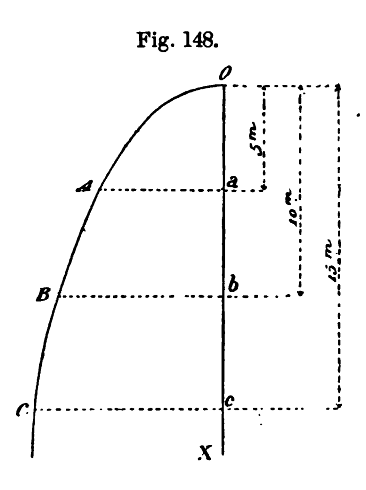
Lorsqu'on ne veut connaître que le nombre et la grosseur des éclats, on se contente, pour les très petits calibres (mitrailleuses), de faire éclater l'obus dans un tonneau plein de sable.

On peut aussi faire éclater l'obus en plein air, et la commission de Calais trouva dans cette manière d'opérer un procédé très ingénieux, plus expéditif que le précédent, pour obtenir la vitesse moyenne que la charge d'éclatement imprime aux balles des shrapnels. Les expériences dont il s'agit sont de 1872. L'obus était attaché au bout d'une corde passant sur une poulie fixée au sommet d'un mât de 25 mètres de haut, et ce mât était placé au centre d'un carré de 600 mètres de côté, quadrillé sur toute son étendue. L'obus ayant été hissé à une certaine hauteur et ayant éclaté, on faisait une recherche méthodique des éclats et des balles, et on rapportait les points de chute sur une feuille quadrillée, où l'on avait ainsi la représentation exacte de la dispersion.

On expérimenta des obus à balles de 4 et de 12, suspendus horizontalement et placés à des hauteurs de 5, 10 et 15 mètres. On constata que les éclats fournis par l'enveloppe était projetés dans tous les sens jusqu'à une distance d'environ 350 mètres, tandis que les balles se retrouvaient à une distance moyenne variant avec la hauteur, mais ne dépassant pas une quarantaine de mètres.

Or, placer l'obus successivement à des hauteurs de 5, 10 et 15 mètres, revient au même que de laisser l'obus immobile et d'abaisser le sol chaque fois d'autant. Si donc on porte ces longueurs en a, b, c sur une verticale OX représentant le mât, et qu'on figure par des horizontales aA, bB, cC les distances moyennes des points de chute des balles, les points A, B, C doivent appartenir à la courbe décrite par la *balle moyenne* à partir de l'explosion. On vérifia que ces points étaient en effet sur une parabole ayant la ligne OX pour axe et le point O pour sommet, et, le paramètre de cette parabole étant fonction de la vitesse initiale, on put calculer celle-ci. On trouva de cette manière la valeur

Fig. 148.



de 24 mètres pour la vitesse moyenne des balles avec l'obus de 4, et celle de 22 mètres avec l'obus de 12.

Dans le tir réel, le résultat doit être un peu différent, parce que le choc des gaz au départ et la force centrifuge pendant le trajet altèrent la disposition des balles et celle de la charge d'éclatement. Dès lors, l'intérieur de l'obus ne possède plus, au moment où il s'ouvre, la symétrie qui lui fut donnée à la salle d'artifice. En ce qui concerne la charge, la conséquence est qu'elle imprime aux balles une vitesse moindre, ce qui est plutôt avantageux que nuisible; en ce qui concerne les balles, la conséquence est que la symétrie de leur dispersion n'existe plus, au moins pour un coup, et ne se retrouve que dans l'ensemble d'un grand nombre de coups. C'est une cause d'irrégularité qui a disparu à peu près avec les nouveaux obus à balles (voir chap. IV), où les balles sont assujetties dans une position stable, et où la charge est complètement séparée d'elles.

§ 2. — PANNEAUX REPRÉSENTATIFS.

L'explosion au repos a fait connaître le nombre des éclats, et fourni certaines notions sur la force vive des éclats ou des balles. On acquiert une connaissance plus complète de l'efficacité du projectile en exécutant des tirs réels contre des panneaux.

Ces panneaux, formés par la réunion de planches de sapin qui ont ordinairement 12^{mm} d'épaisseur et $1^{m},80$ ou 2 mètres de hauteur, représentent une troupe d'infanterie, de cavalerie ou d'artillerie disposée suivant une des formations tactiques qui sont habituelles à ces armes. Par exemple, une compagnie d'infanterie en colonne par pelotons sera représentée par trois rangs de panneaux larges de 24 mètres et distants de 24 mètres. La même compagnie déployée en tirailleurs le sera par une première ligne de 70 panneaux larges de $0^{m},50$, espacés de $1^{m},40$ et divisés en bandes horizontales de $0^{m},50$, 1 mètre et $1^{m},80$ pour marquer les hommes couchés, à genoux et debout; à 100 mètres en arrière viendra une seconde ligne formée par deux panneaux longs chacun de 24 mètres, et correspondant aux demi-pelotons de soutien..... etc. (Voir les tirs faits à Tarbes sur les diverses unités tactiques, relatés dans les rapports des 1er mai et 3 juillet 1875).

Le plus habituellement, on prend deux rangs de panneaux de 40 mètres chacun, espacés de 40 mètres, et il serait à désirer qu'afin de rendre comparables des expériences de diverses provenances, on ne s'écartât jamais de ce type, à moins d'avoir en vue l'étude spéciale des effets du tir sur une formation tactique déterminée.

Après chaque coup, ou quelquefois après chaque salve d'un certain nombre de coups, on relève le résultat produit sur les panneaux, et on l'enregistre dans un tableau préparé d'avance, dont nous reproduisons ici le modèle :

	ÉCLATS			EMPREINTES d'éclats	TROUS		EMPREINTES de balle		TOTAL
	gros	moyens	petits		d'obus	de balle	fortes	faibles	
1er coup............	......	......	......	......	......	......	......	......	......
2e coup.............	......	......	......	......	......	......	......	......	......
Etc.................	......	......	......	......	......	......	......	......	......

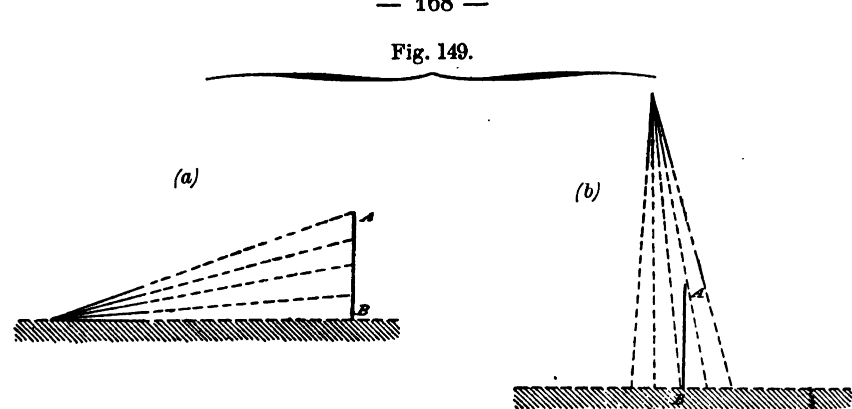
On en fait aussi une représentation graphique au moyen de signes conventionnèls pour les diverses espèces d'*atteintes*. Enfin on relève méthodiquement les balles, éclats, fusées, ailettes, ceintures... tombés sur le sol : à cet effet des hommes espacés de 5 à 10 mètres et formant un front de longueur suffisante, s'avancent en bataille de manière à explorer tout le terrain sur lequel il y a quelque chance d'en trouver.

On considére comme devant produire un effet meurtrier suffisant la force vive en vertu de laquelle est percée une planche de sapin de 12^{mm} d'épaisseur. Prenant une autre évaluation plus expressive, on peut dire encore que 150 mètres est la vitesse au-dessous de laquelle des balles de 15 gram. environ ne sont plus efficaces.

Il n'est peut-être pas inutile d'observer que les panneaux ne sauraient donner à eux seuls une représentation exacte et une mesure irréprochable de l'efficacité du tir. Si, par exemple, les atteintes sont groupées sur de très petits espaces en renfermant beaucoup, il est clair que leur nombre donnerait une idée fausse de l'effet produit sur une troupe de combattants. Aussi est-il bon de diviser les panneaux en files de $0^{m},50$ de largeur et de donner les nombres de files atteintes; parfois on convient que lorsqu'une même file reçoit plus de deux atteintes, on n'en comptera le nombre que pour deux, quel qu'il soit.

Un autre cas où un défaut de réflexion pourrait induire en erreur est celui d'un obus à balles armé d'une fusée à durée et lancé sous un grand angle de projection, ce qui ne sera pas rare avec un obusier de gros calibre. Le cas est analogue à celui-ci. Si l'on pose sur une table et sur le plat de sa reliure, un livre à feuillets entr'ouverts *vis-à-vis* d'une planchette verticale

Fig. 149.



AB (fig. *a*), le plan de chacun des feuillets viendra couper celle-ci. Si, au contraire, on place le livre entr'ouvert *au-dessus* de la planchette (fig. *b*), il est possible qu'aucun des feuillets ne la coupe, quoique chacun aille rencontrer le plan de la table très près de son pied. Il est clair que dans un pareil cas, c'est par l'étude des relevés sur le sol, et non par les atteintes sur des panneaux, qu'on doit chercher à se rendre compte des effets d'éclatement.

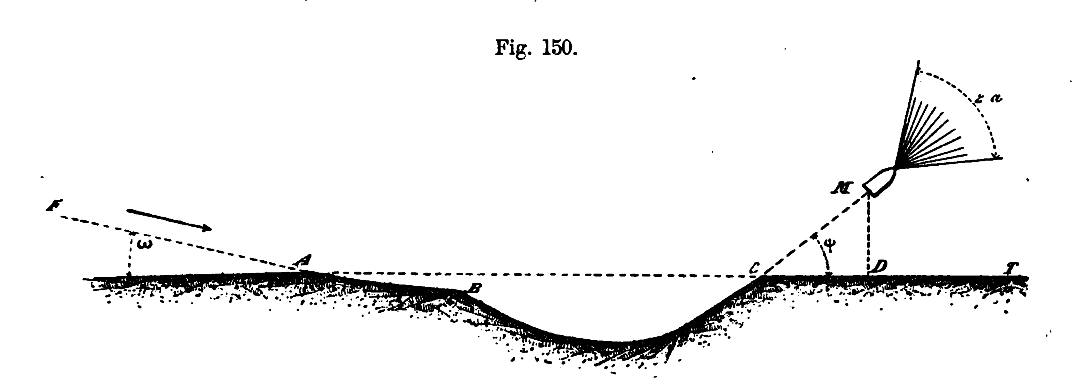
Le mode d'action du projectile se définit surtout par la forme de la *gerbe*. On appelle ainsi l'ensemble des trajectoires que décrivent les éclats ou les balles à partir du point où s'accomplit leur séparation. Dans les études théoriques, il faut concevoir cet ensemble comme provenant, non d'un projectile unique, car alors la gerbe n'aurait pas une forme suffisamment définie, mais d'un grand nombre de projectiles venus éclater successivement en un même point.

On a vu, chap. V, que l'éclatement de l'obus peut se faire, soit par percussion au moment où il touche le sol, soit spontanément en un point déterminé de son trajet dans l'air. La gerbe s'appelle *gerbe percutante* dans le premier cas, et *gerbe fusante* dans le second. Il nous faut examiner les deux cas, auxquels correspondent des propriétés essentiellement différentes de la gerbe.

§ 3. — GERBE PERCUTANTE.

Lorsque l'obus armé d'une fusée percutante arrive sur le sol et que sa direction n'est pas trop fichante par rapport à celui-ci, il y creuse un sillon

Fig. 150.



AB plus ou moins long, puis se relève sous un angle généralement plus grand que celui d'arrivée, et c'est seulement lorsque la deuxième trajectoire est déjà commencée que l'explosion se produit. Ce retard *CD* est indispensable car, sans lui, une partie des éclats (ou des éclats et des balles) resterait dans le sol.

Ordinairement l'axe de la gerbe est un peu incliné du côté vers lequel se produit la dérivation, parce que l'obus, en ricochant, est dévié légèrement dans cette direction. Mais l'obliquité est toujours assez faible pour qu'il n'y ait pas lieu de s'en occuper. On peut négliger aussi la hauteur *MD* de l'éclatement. Dès lors, il suffit de trois éléments pour définir la position et la forme de la gerbe, savoir : le retard *CD*, l'angle du ricochet $\psi = MCT$, et l'ouverture 2α du cône renfermant les tangentes initiales des diverses trajectoires individuelles. Ces éléments étant fixés, l'effet du tir sur un panneau placé en avant du point d'éclatement dépend essentiellement de la distance qu'il y a entre les deux, distance qui s'appelle l'*intervalle*, et dont nous nous occuperons après avoir étudié la gerbe.

I. — Le retard et l'angle du ricochet.

Le retard *CD* dépend de la vivacité de la fusée, et on a vu (chap. VIII, § 5) comment celle-ci peut se régler. Il paraît assez variable, et il est d'ailleurs difficile à évaluer exactement. On l'obtient approximativement au moyen des traces noirâtres qui restent sur le sol à l'endroit au-dessus duquel l'éclatement se produit, et qui ne peuvent pas être confondues avec le sillon du projectile. Avec la fusée Budin et les canons de campagne, il est de quelques mètres à 1000 mètres, et diminue à mesure que la distance augmente. Au delà de 3000 mètres, et même avant si le sol est peu favorable au ricochet, il devient nul, c'est-à-dire que l'obus éclate dans le sol; on dit alors que

l'obus *fait fougasse*, et les éclats qui ne s'enfoncent pas en terre sont projetés dans toutes les directions.

L'angle du ricochet ψ peut s'obtenir en appliquant une règle *CM* contre l'extrémité postérieure du sillon tracé par le projectile, et mesurant l'inclinaison de cette règle avec le niveau de pointage. Toutefois, par un effet analogue à celui de la réfraction, le projectile sorti de terre s'éloigne de la verticale un peu plus que ne le fait le prolongement de la règle; mais si on a mesuré de même l'inclinaison de la partie antérieure du sillon, on peut admettre que ces deux inclinaisons sont entre elles dans le même rapport que les angles vrais de chute et de ricochet, et déduire celui-ci de celui-là.

L'angle ψ s'obtient avec plus d'exactitude chaque fois qu'un obus tombe devant un panneau assez près pour le traverser en se relevant et n'éclater qu'au delà; sa tangente est alors égale au rapport des distances verticale et horizontale qu'il y a entre le sillon fait dans le sol et le trou fait dans le panneau; la première distance s'obtient avec un niveau d'arpenteur, et la seconde se mesure au mètre.

On a constaté ainsi que l'angle du ricochet est égal à une fois et demie ou deux fois l'angle de chute. Comme lui, il augmente rapidement avec la distance du tir, c'est-à-dire que la gerbe est d'autant plus redressée que cette distance est plus grande.

II. — L'ouverture de la gerbe.

Trois causes déterminent l'ouverture 2α de la gerbe : 1° la vitesse que le choc a laissée au projectile, et avec laquelle il s'est relevé pour commencer sa deuxième trajectoire; 2° sa vitesse de rotation et les forces centrifuges qui animent, à raison de leur distance à l'axe, les divers éléments qui doivent se séparer; 3° la vitesse de translation que la charge d'explosion imprime à chacun de ces éléments.

La première cause agit dans le sens de l'axe de la gerbe, qui diffère très peu de la dernière tangente à la trajectoire que décrivait l'obus avant l'explosion; elle est la plus considérable, et elle diminue rapidement lorsqu'augmente la distance de tir. La seconde cause agit perpendiculairement à l'axe de la gerbe; elle diminue dans le même sens que la précédente, mais si lentement qu'on peut la considérer comme constante. Enfin la troisième cause, qui agit dans un sens variable avec l'organisation de l'obus, et qui est d'ailleurs la moins importante des trois, et indépendante de la distance.

Il suit de tout cela que, si la distance de tir augmente, la gerbe va en

s'évasant de plus en plus, et qu'en même temps la vitesse des éclats (et des balles, s'il y en a) va en diminuant.

L'ouverture de la gerbe se mesure par les deux lignes qui vont du point d'éclatement *D* aux atteintes extrêmes de droite et de gauche sur les panneaux; il faut, bien entendu, prendre la moyenne d'un assez grand nombre de valeurs. Elle varie avec le canon et paraît avoir une valeur moyenne de 36° à 1000 mètres[1].

Chacun des petits projectiles qui se sont for-

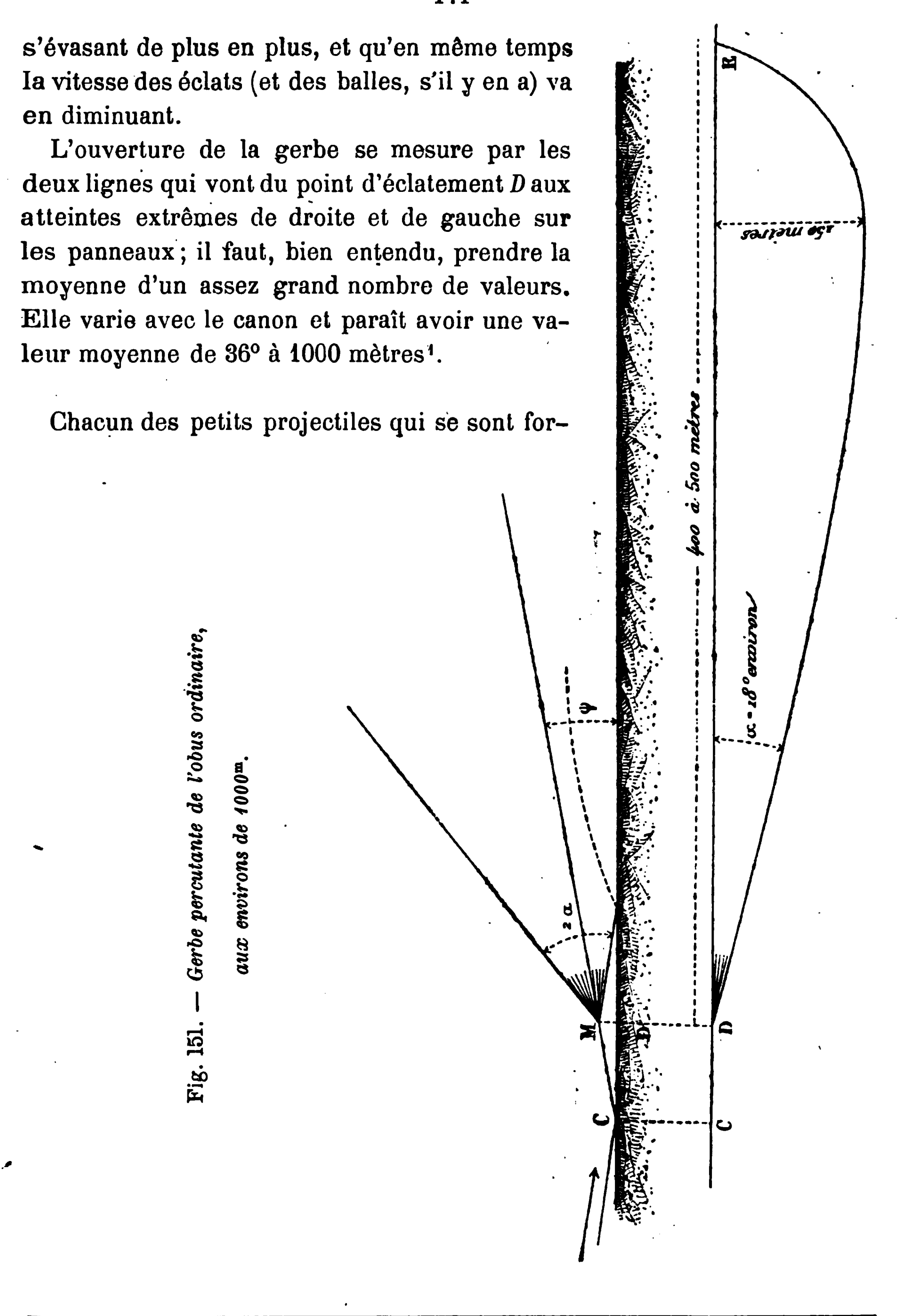


Fig. 151. — *Gerbe percutante de l'obus ordinaire, aux environs de 1000*ᵐ.

1. Ce chiffre, et les chiffres analogues qu'on trouvera dans la suite du présent chapitre, sont donnés sous toutes réserves.

més aux dépens de l'obus décrit une trajectoire variant avec sa vitesse initiale, son poids, sa forme, et la position qu'il avait avant la rupture. Les plus petits et les plus irréguliers de forme souffrent davantage de l'action retardatrice, décrivent une trajectoire plus courbée, et retombent plus tôt sur le sol. Ceux qui se trouvent dans les basses régions de la gerbe arrivent au sol sous un angle assez grand pour s'y enfoncer. Enfin ceux qui ont été favorisés de la fortune pour la forme, la grosseur et la position, fournissent des courses plus lointaines, peuvent faire un ou plusieurs bonds, et rendent dangereux jusqu'à 400 mètres ou 500 mètres le terrain qui s'étend en avant du point où l'explosion s'est produite.

Ce terrain dangereux peut avoir une largeur totale de 300 mètres. — Voir la figure 151.

III. — L'Intervalle.

L'intervalle se détermine par la double considération que les coups tombant au delà du panneau sont perdus, et que ceux qui tombent en avant à une distance plus grande que la portée *DE* de la gerbe le sont également. Lorsque l'intervalle est trop petit, la gerbe est interceptée toute entière, mais dans le voisinage de son sommet : la partie touchée est détruite, le reste demeure vierge de toute atteinte, et l'effet est trop restreint.

Pour un but ayant de la profondeur, on peut diminuer l'intervalle; il vaut mieux l'augmenter, si le but n'est étendu qu'en largeur.

Il ne faut pas oublier qu'on n'est maître de l'intervalle que dans une certaine mesure, car le panneau est fixe, mais le point de chute est variable. La seule chose sur laquelle on ait prise, c'est un point idéal *O*, qui est relatif à un grand nombre de coups, et qu'on appelle le *point de chute moyen* (voir chap. VII, § 1); quant aux points de chute individuels, ils s'éparpillent en deçà et au delà de ce point moyen *O* suivant une loi qui échappe à l'action du tireur, et qu'exprime la figure de la page 118.

La distance *CD* du point d'éclatement au point de chute éprouve de son côté des variations qui suivent probablement une loi analogue, mais dont l'amplitude totale est relativement très petite et peut être négligée. La même figure peut donc être considérée comme s'appliquant aussi au point d'éclatement moyen.

Supposons que *L* soit l'intervalle relatif à celui-ci, et appelons en outre *G* la portée de la gerbe.

Tant que L est plus grand que $G+4r$, aucun éclat ne peut atteindre le panneau. Si l'intervalle va en diminuant à partir de cette valeur, le nombre total des atteintes fourni par un nombre déterminé de coups va d'abord en augmentant. Lorsque L devient inférieur à $4r$, quelques coups éclatent au delà du panneau; ils sont d'abord peu nombreux, et alors leur perte peut avoir une compensation dans ceci que la section de la gerbe par le plan du panneau a une plus grande densité. Mais leur proportion, qui devient de 25 °/₀ pour $L=r$, va toujours en augmentant. Il y a donc un certain intervalle moyen L_0 auquel correspond le maximum du nombre des atteintes, et qui peut ne pas être le même que pour un coup isolé.

Contre l'infanterie debout, il paraît être d'une trentaine de mètres pour les distances de tir voisines de 1,000 mètres, et d'une dixaine de mètres aux environs de 2,500 mètres. Contre la cavalerie, ces nombres seront augmentés dans le rapport de 2 à 3; contre l'infanterie à genoux, ils seront au contraire diminués dans le même rapport.

Mais il faut observer, que, dans le tir réel, le commandant de batterie ne peut pas se rendre compte des intervalles individuels appartenant à chacun de ses coups. De même qu'il n'a d'action que sur un intervalle moyen, de même il ne peut se rendre compte que d'un intervalle moyen, et cela d'après la proportion entre les coups observés longs et ceux observés courts. En définitive, c'est uniquement d'après cette proportion que le tir doit être réglé; la manière de procéder à ce réglage sera expliquée ailleurs.

Le tableau qui suit donne les résultats de tirs exécutés avec le canon de 95 à la distance de 2,000 mètres. Le but était une rangée de panneaux de 2 mètres de haut et 40 mètres de large; on fit varier l'intervalle L, dont les valeurs sont inscrites sur la première ligne, depuis 3 mètres jusqu'à 39 mètres, et on obtint des nombres d'atteintes, N, qui sont inscrits sur la deuxième ligne; ces nombres sont relatifs à *un* coup.

L	3m	6m	8m	12m	14m	18m	25m	32m	36m	37m	38m	39m
N	Un panneau criblé...	31	26	25	21	18	10	8	7	11	7	3

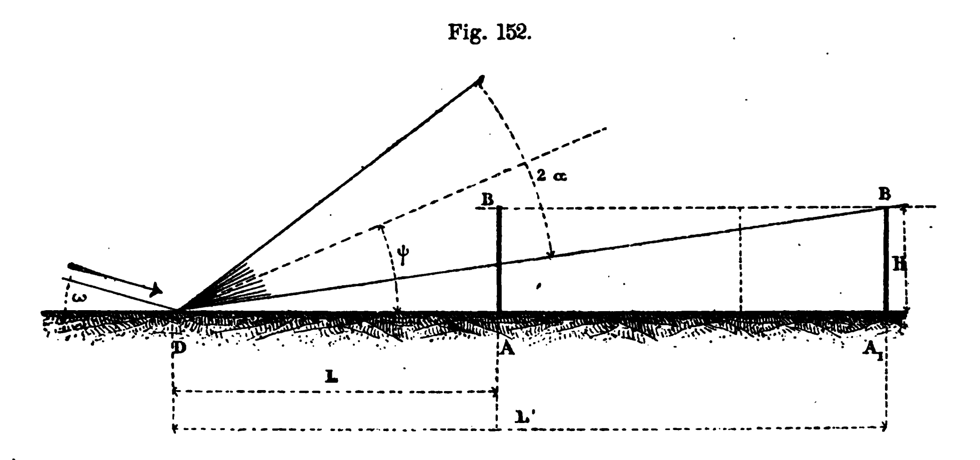
IV. — Cas des shrapnels.

Jusque dans ces dernières années, et faute d'une fusée à durée satisfaisant aux exigences que l'on avait, l'artillerie française, l'artillerie russe et d'autres faisaient éclater les shrapnels par percussion, mode qui leur convient moins, ainsi que nous le montrerons après avoir expliqué la manière dont ils s'y conduisent.

Pour ce genre de projectile, les balles forment seules une gerbe compacte, en dehors de laquelle les éclats de l'enveloppe décrivent des trajectoires vagabondes. On ne peut compter que sur les premières, et encore ne faut-il guère songer à leurs points de chute, ou leur dispersion est trop grande et leur force vive trop diminuée. Il n'y a de réellement utile que la partie ascendante de la gerbe.

Soit toujours L l'intervalle, et H la hauteur AB du panneau. On voit que

Fig. 152.

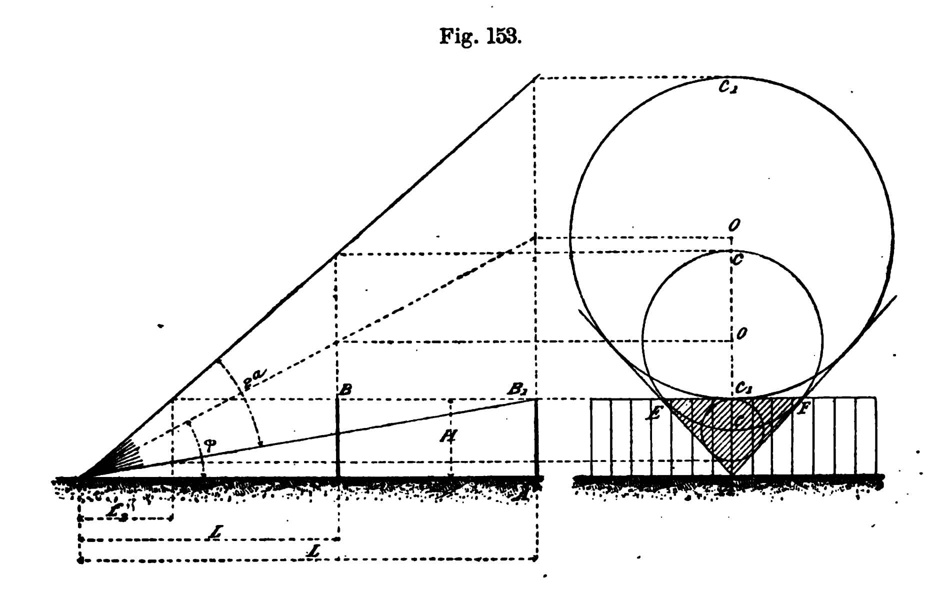


celui-ci ne recevra aucune atteinte et que toute la gerbe lui passera par dessus, si la génératrice inférieure DB du cône de dispersion ne le rencontre pas. Le passage à ces positions indemnes se fait à la distance DA_1, pour laquelle l'ordonnée A_1B_1 de cette génératrice inférieure se trouve égale à H. La valeur de L est alors

$$L_1 = H \operatorname{cotg} (\psi - \alpha).$$

Pour cette position extrême, la gerbe est coupée par le plan des panneaux suivant un cercle O_1C_1 tangent à leur bord supérieur. Quand L devient plus petit, le rayon $OC = L \operatorname{tg} \alpha$ de ce cercle diminue dans la même propor-

Fig. 153.



tion, et il recouvre les panneaux par un segment $ECFC_1$, dont la surface va d'abord en augmentant. Cette surface de recouvrement passe par un maximum qui est déjà dépassé quand L arrive à la valeur

$$L_2 = H \operatorname{cotg} (\psi + \alpha),$$

car la section de la gerbe est alors un cercle tangent par dessous au bord des panneaux, et ce cercle va en décroissant jusqu'à zéro avec L.

Il y a donc, entre les deux valeurs L_1 et L_2, un intervalle pour lequel la partie des panneaux couverte par la gerbe est maximum; sa recherche serait un problème de géométrie peu difficile et, en admettant que les balles sont uniformément réparties dans le cercle OC, il est le plus avantageux.

On voit que, pour une infinité de coups tombant entre le pied des panneaux et le point D situé à la distance L_1, l'espace couvert serait le triangle $EA'F$, enveloppe des cercle OC. Il n'arrive de coups en dehors de ce triangle que par le fait des écarts en direction, qui le déplacent parallèlement à lui-même à droite ou à gauche.

Or la valeur L_1 est très grande quand la distance de tir est petite; mais elle diminue rapidement à mesure que le canon s'éloigne des panneaux, ainsi que le montre le tableau suivant :

BOUCHES A FEU	Valeurs de H cotg $(\psi - \alpha)$, pour $H = 2^m$, aux distances de			
	1.500^m	2.000^m	3.000^m	4.000^m
Canon de 5	172^m	40^m	15	7
Canon de 7............	$\alpha > \psi$	51	14	»

C'est ce qui explique pourquoi ***l'effet de l'obus à balles percutant diminue si vite aux grandes distances*** et, après avoir été notablement supérieur à celui de l'obus ordinaire à simple ou double paroi, finit par lui devenir complètement inférieur, les éclats de celui-ci conservant encore de l'efficacité à leurs points de chute.

Nul quand l'intervalle est plus grand que L_1, l'effet de la gerbe ascendante le redevient, ou à peu près, lorsque l'intervalle s'approche de zéro, c'est-à-dire lorsque l'obus tombe tout près du panneau et le traverse comme un projectile massif. L'intervalle le plus avantageux paraît être de 20 à 10 mètres jusqu'à la distance de 1,000 mètres, et de 10^m à 1 mètre jusqu'à celle de 2,500 mètres, qui est la limite extrême de ce genre de tir, aujourd'hui abandonné.

Il est facile maintenant de comprendre pourquoi l'association avec la fusée percutante est peu avantageuse à l'obus à balles. Il y a deux raisons principales :

1° Les balles ayant individuellement une masse très faible, il importe que la séparation les laisse avec la plus grande vitesse possible, afin que l'un des facteurs de la force vive compense l'insuffisance de l'autre; or cette vitesse est au contraire grandement diminuée par le choc qui est nécessaire au fonctionnement de la fusée.

2° Dans une plaine ondulée, comme c'est le cas général, il tombe naturellement un plus grand nombre de projectiles sur la face antérieure de chaque pli de terrain que sur l'autre face; pour ceux-là, l'angle de chute réel a la valeur qui correspondrait, en terrain parfaitement horizontal, à une distance de tir beaucoup plus grande, et il en est de même pour la quantité H cotg $(\psi - \alpha)$, qui exerce une influence si marquée sur l'effet du tir.

On peut ajouter à cela que l'effet de l'obus à balles est à peu près perdu

quand il fait fougasse. Enfin, la fusée percutante souffre de nombreux ratés lorsque la chute a lieu sur un sol détrempé ou naturellement mou, et il est bon que l'une au moins des deux sortes de projectiles dont on dispose soit indépendante de l'état du sol, comme de sa configuration.

§ 4. — GERBE FUSANTE.

Il est reconnu aujourd'hui que la gerbe fusante, au contraire de celle qui vient de nous occuper, ne convient nullement à l'obus ordinaire, dont les éclats gros, peu nombreux, projetés avec une grande vitesse dans des directions perpendiculaires à celle du tir, seraient dispersés au loin et n'auraient qu'un effet des plus incertains. Il ne sera donc question dans ce qui suit que de l'obus à balles.

De plus, on a vu (§ 1) que la charge d'éclatement n'imprime aux balles qu'une faible vitesse, tandis qu'elle disperse au loin les éclats. Ceux-ci ne forment pas de gerbe proprement dite, et, bien qu'ils apportent à l'effet des balles un appoint qu'il ne faut pas mépriser (comparez chap. IV, § 2, I), il n'y a pas lieu de nous en occuper dans l'étude actuelle ; ce qui suit ne s'applique qu'à la gerbe des balles.

I. — Ouverture et constitution de la gerbe.

L'ouverture de la gerbe fusante est déterminée par les trois mêmes causes que celle de la gerbe percutante, savoir : la vitesse restante du projectile, la vitesse de rotation et la charge d'éclatement. A distance égale de la bouche à feu, la vitesse du projectile est plus grande dans le premier cas que dans le second, parce qu'il n'a pas été ralenti par un choc. L'ouverture de la gerbe est donc moindre quand c'est une fusée à durée qui lui donne naissance que lorsque c'est une fusée percutante.

D'ailleurs, comme la vitesse restante diminue à mesure que le projectile s'éloigne de la bouche à feu, tandis que les deux autres causes restent sensiblement invariables, l'ouverture 2α de la gerbe augmente avec la distance dans un cas comme dans l'autre.

On peut lui attribuer la valeur de 8° aux environs de 1,000 mètres, de 10° vers 1,800 mètres, et de 12° vers 2,500 mètres. — Avec l'angle de 8°, le diamètre de la section est les 0,14 de distance au sommet ; il en est les 0,18 avec 10°, et les 0,21 avec 12°.

Pour l'angle de 8°, et pour les distances de 20 mètres, 40 mètres,

60 mètres..., cela donne les valeurs suivantes du diamètre d en mètres, et de la section $\frac{\pi d^2}{4}$ en mètres carrés :

Distances.....	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Diamètres....	2.8	5.6	8.4	11.2	14.0	16.8	19.6	22.4	25.2	28.0
Surfaces	6	24	56	98	154	222	302	394	498	615

C'est sur ces surfaces S que les balles se répartissent. Si leur nombre est N, et si l'on admet qu'elles se répartissent uniformément, leur nombre par mètre carré sera $\frac{N}{S}$. On peut prendre un mètre carré pour la surface que présente un homme.

Sur une rangée de panneaux interceptant une surface P de la gerbe, le nombre des atteintes *directes* sera $\frac{NP}{S}$.

Avec les shrapnels où la charge est en arrière, comme dans le type autrichien (chap. IV, § 2, II), la répartition des balles dans la gerbe est à peu près uniforme. Avec les anciens obus à balles de l'artillerie française, où la charge était placée en avant, on avait déjà observé que la gerbe avait une densité moindre au milieu de même que sur ses bords, et une zone intermédiaire à densité maxima. Ce caractère est encore plus prononcé avec le système qu'on préfère aujourd'hui, et qui consiste à mettre la charge dans un tube central.

Fig. 154.

On admet généralement que la gerbe est alors à peu près creuse, et on la considère comme composée de trois parties : le cône interne BMB', que parcourent la fusée, le culot et un petit nombre de balles, une zone conique intermédiaire $BCMC'B'$, dans laquelle les balles se trouvent presque toutes, et une zone enveloppante $CDMD'C'$, où il n'y en a plus que très peu. L'axe commun des trois cônes, ou axe de la gerbe, est un peu au-dessous de la dernière tangente de la trajectoire [1].

En ce qui concerne le sommet de la gerbe, c'est-à-dire le point d'éclatement, on peut le considérer : — relativement à la pièce, si l'on a spécialement en vue la dépendance qui existe entre ce point et les éléments du tir, — ou relativement au but, si l'on s'occupe seulement de l'effet produit.

II. — Le point d'éclatement et la pièce.

Tandis que le point de départ de la gerbe percutante était lié uniquement au point de chute, parce que c'est celui-ci qui déterminait le fonctionnement de la fusée, le point de départ de la gerbe fusante se rattache à la pièce, qui a elle-même actionné la fusée en même temps qu'elle lançait le projectile.

Admettons pour un instant que la trajectoire est invariable de forme et de position, c'est-à-dire que tous les projectiles lancés l'un après l'autre marchent scrupuleusement sur la piste du premier. Alors la distance du point d'éclatement à la pièce dépendra uniquement du réglage de la fusée.

Veut-on que cette distance soit X, il faudra que la composition fusante communique le feu à la charge d'éclatement au bout d'un temps t donné par la formule

$$t=\frac{X}{V_0}+\frac{1}{2}\frac{X^2}{C}, \qquad [1]$$

où V_0 désigne la vitesse initiale et C le coefficient balistique du projectile. En effet, dans ce tir très tendu, la pesanteur conserve avec la direction du mouvement un angle toujours assez peu différent de 90° pour qu'il soit permis de négliger son travail élémentaire en présence de celui de la résistance de l'air. On a dès lors, en supposant celle-ci proportionnelle au cube de la vitesse v, et en appliquant le principe des forces vives,

1. Cette conception de la gerbe creuse est peut-être le fruit d'une idée préconçue, et n'est pas admise par tous les artilleurs (voir, p. ex., *Giornale d'artiglieria, août 1879)*; mais les principes de tir exposés ci-après subsistent indépendamment d'elle.

$$vdv = -\frac{v^3}{c}dX, \quad \frac{dv}{v^2} = -\frac{dX}{C}, \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{V_0} = \frac{X}{C},$$

d'où

$$\frac{1}{v} = \frac{dt}{dX} = \frac{1}{V_0} + \frac{X}{C}, \quad t = \frac{X}{V_0} + \frac{1}{2}\frac{X^2}{C}.$$

La durée de la combustion dépend de la vitesse avec laquelle elle se propage de couche en couche dans le tube de la fusée. Or cette vitesse n'est pas la même dans la fusée vissée sur un projectile en marche que dans la fusée au repos : à raison de la compression exercée sur l'air, elle dépend de la vitesse v du projectile, et varie avec elle, suivant une loi inconnue, d'un point à l'autre de la trajectoire. Aussi l'échelle des durées doit être construite, ou au moins contrôlée, par des expériences de tir.

Quelle que soit la manière dont on l'obtient, il en est pour la durée de combustion comme pour toutes les autres grandeurs auxquelles nous avons à faire. Nous n'en pouvons déterminer qu'une valeur moyenne t_0, et nous n'avons d'action que sur celle-là. Les durées individuelles sont tantôt plus grandes et tantôt plus petites, à peu près dans d'égales proportions, et elles sont soumises à une loi de fréquence ou de probabilité qu'exprime la figure 130, chap. VII. Appelons θ l'écart probable qui définit cette loi, en sorte que 50 % des durées individuelles seront comprises entre les valeurs $t_0 - \theta$ et $t_0 + \theta$. D'après ce qui a été dit chap. VI, § 1, on peut prendre

$$\theta = 0^s,05.$$

Soit X_0 la distance qui correspond à la durée t_0, et μ un facteur numérique quelconque. En vertu de la vitesse v, que nous pouvons confondre avec sa projection horizontale, le projectile parcourt pendant le temps $\mu\theta$ une longueur égale à

$$t_0 \pm \mu\theta;$$

l'éclatement se fera donc à la distance

$$X_0 \pm \mu v\theta.$$

X_0 est ainsi une distance moyenne en deçà et au delà de laquelle les éclatements se répartissent suivant une loi de fréquence qui est toujours représentée par la figure 130, et qui est définie par un écart probable égal à

$$r_2 = v\theta.$$

Restituons maintenant à la trajectoire la variabilité qui est due à un ensemble de causes agissant sur la vitesse initiale, sur le pointage, et même sur le projectile une fois parti, et qui fait qu'à cette même distance X_0, la position du projectile comporte de son côté un écart probable r_1 donné par la table de tir sous le nom d'écart probable en portée.

Par le concours des deux groupes de causes auxquels s'appliquent les valeurs r_1 et r_2, la distance X du point d'éclatement se trouvera soumise à

une nouvelle loi de variation ayant toujours la même forme générale (figure 130), mais caractérisée par un nouvel écart probable R, qu'on appelle *l'écart probable résultant*, et qui se calcule par la formule

$$R = \sqrt{r_1^2 + r_2^2} = \sqrt{r_1^2 + v^2\theta^2}. \qquad [2]$$

Cette valeur R est une donnée importante, car c'est elle qui joue avec l'obus fusant le rôle dévolu à l'écart probable en portée dans le tir avec projectiles inexplosifs ou percutants.

On remarquera que sur les deux termes de R^2, l'un va en augmentant et l'autre en diminuant quand la distance de tir augmente. D'où il suit que R doit varier assez peu et qu'il serait peut-être permis de prendre une valeur unique pour toutes les distances. Il résulte de tirs faits en 1879 avec le shrapnel italien de 9^c, et dont nous reproduisons le tableau dans le § suivant, une valeur moyenne $2R$ d'environ 40 mètres, qui concorde avec la formule [2].

Cela veut dire, nous le répétons afin que cette notion devienne suffisamment familière, que 50 % des éclatements se font entre deux plans perpendiculaires à la direction du tir et situés aux distances $X_0 - 20^m$, $X_0 + 20^m$, et que la répartition des éclatements se fait entre ces deux plans et en dehors d'eux conformément à la loi générale des écarts décrite chap. VII, § 2.

Quand on change le réglage de la fusée, et qu'on ne touche pas à la hausse du canon, on déplace le point d'éclatement sur la trajectoire sans déranger celle-ci. Il en résulte qu'en opérant ainsi, *on fait varier à la fois la distance de l'éclatement et sa hauteur*, car la seconde est toujours l'ordonnée correspondante à la première prise pour abscisse.

On peut aussi déplacer l'éclatement en agissant sur la hausse du canon sans toucher à la fusée. Alors *on ne change que la hauteur du point d'éclatement et sa distance reste la même*, car la formule [1] donnée plus haut est indépendante de l'angle de projection, qui a seul changé avec la hausse.

Ce double théorème est d'une importance extrême pour le réglage du tir des shrapnels, qui est toujours assez difficile, même dans les tirs de polygone. Il conduit aux principes suivants, qu'on ne doit pas perdre de vue :

1° La *distance* de l'éclatement ne peut être corrigée qu'en agissant sur la fusée.

2° La *hauteur* de l'éclatement se corrige généralement au moyen de la hausse, mais elle peut l'être également par la fusée.

3° Chaque fois qu'on touche à celle-ci, on doit se demander s'il n'y a pas lieu de faire à la hausse une correction parallèle, afin de conserver la hauteur qu'on avait.

Quant à la variation de hauteur qu'on produit en corrigeant la hausse ver-

ticale h d'une quantité Δh, ou l'angle de projection φ d'une quantité $\Delta\varphi$, on peut prendre tout simplement, en désignant par l la longueur de la ligne de mire naturelle :

$$\Delta Y = X.\frac{\Delta h}{l} = X.\ \Delta \operatorname{tg}\varphi = 7.\frac{X}{100}.\frac{\Delta\varphi}{4}:$$

dans le dernier terme, l'angle $\Delta\varphi$ est supposé exprimé en fractions décimales de degré. — Pour les canons de campagne, on peut prendre approximativement $l = 1^m$, et alors, en vertu du premier terme, *la variation de hauteur du point d'éclatement, en mètres, est égale au produit de la portée, exprimée en kilomètres, par la variation de la hausse, exprimée en millimètres.*

Tels sont les principes généraux du réglage du tir des shrapnels; on en trouvera l'application dans une autre partie de ce cours, où il est traité avec détails du réglage du tir dans les diverses circonstances de la guerre.

III. — Relèvement du point d'éclatement.

Dans les expériences faites en vue d'étudier les effets d'un obus à balles, l'observation de ces effets ne peut conduire à des conséquences utiles que si l'on connaît, pour chaque coup, la position exacte du point d'éclatement par rapport aux panneaux. Elle peut s'obtenir par des moyens assez variés :

1° Méthode des recoupements, employée à Calais.

A Calais, on détermine par deux directions la verticale sur laquelle l'éclatement se produit, et une troisième observation simultanée fait connaître sa hauteur.

Les appareils de direction se composent chacun : 1° d'un cadre vertical ayant 2 mètres de large et $0^m,40$ de haut, sur lequel sont tendus des fils verticaux, numérotés, espacés de 5 en 5 centimètres, et alternativement blancs, rouges, noirs, afin d'éviter toute chance de confusion; 2° d'un œilleton B, porté par une espèce de tige de hausse, qu'on peut élever à la hauteur convenable le long d'un piquet A, planté en terre à 2 mètres en arrière du cadre.

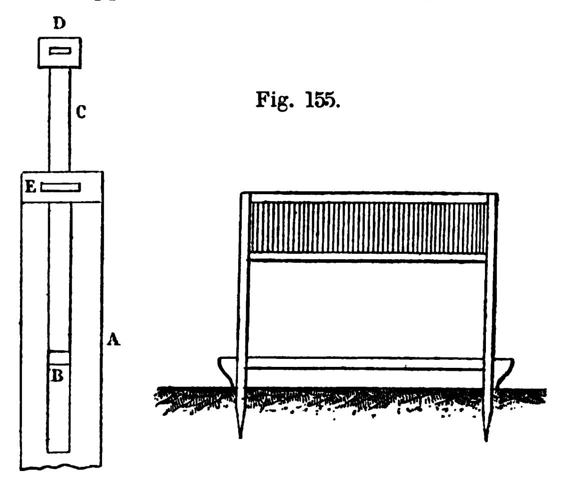
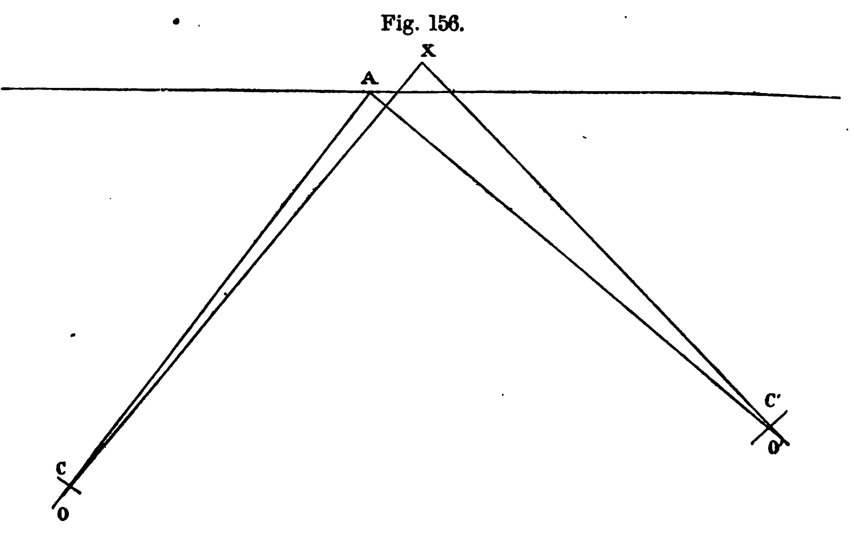


Fig. 155.

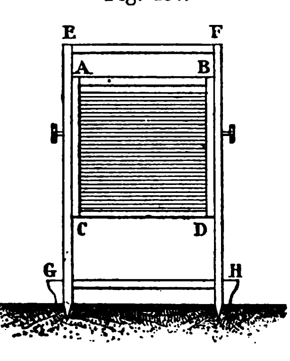
Ayant déterminé, sur la ligne de tir, un point A voisin du point présumé

Fig. 156.



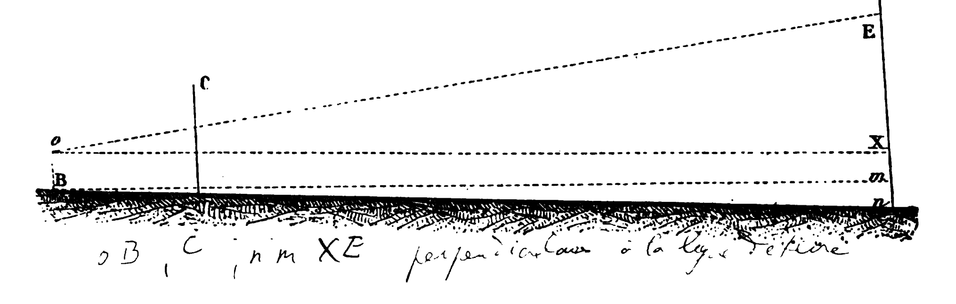
d'éclatement, on place les appareils en deux stations O et O', à quelques centaines de mètres de part et d'autre de la ligne, et de manière que l'angle OAO' soit à peu près droit. On marque le fil qui est dans la direction de ce point; on note ensuite, à chaque coup, le fil qui se trouve dans la direction de l'éclatement, et, d'après le nombre des intervalles compris entre ces deux fils, il est facile de tracer graphiquement, ou de calculer, l'angle AOX, ou $AO'X$.

Fig. 157.



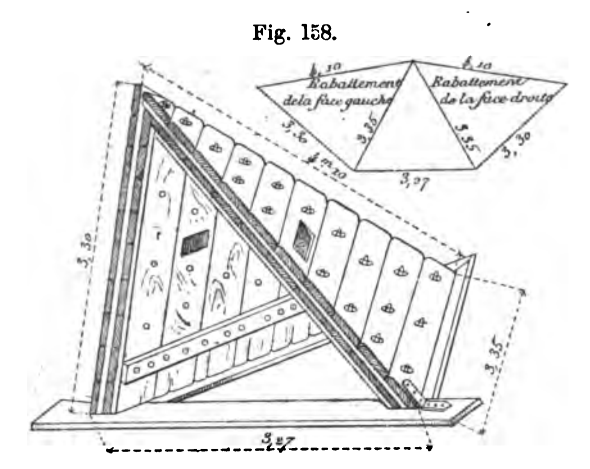
Dans l'appareil de hauteur (fig. 157), les fils du cadre sont horizontaux, et le principe est le même. Au moyen d'un niveau à lunette, on commence par marquer le fil qui se trouve dans le même plan horizontal que l'œilleton, en déplaçant un peu, s'il y a lieu, soit celui-ci, soit le cadre.

Fg. 157 *bis*.



Les trois observateurs sont protégés contre les éclatements prématurés par des abris *mobiles*. Un pareil abri (fig. 158) est formé de deux faces triangulaires, composées de plusieurs épaisseurs de madriers, et réunies suivant une arête inclinée d'arrière en avant.

Fig. 158.



Avec cette manière d'opérer, l'erreur possible sur la position du point d'éclatement est de 1m,125 dans le sens horizontal et de 0m,25 dans le sens vertical.

2° *Emploi d'un écran.*

On met en avant des panneaux, à une distance égale à celle dont on veut étudier l'influence, un écran formé par des planches minces, et on remplace la fusée à durée par une fusée percutante assez sensible pour que l'écran en détermine le fonctionnement. On tient compte, s'il y a lieu, du retard de la fusée (voir le § précédent), et on n'a qu'à mesurer la hauteur du trou fait dans l'écran à chaque coup. En combinant ce procédé avec celui de la charge réduite (chap. III, § 1, IV), on pourrait transporter le canon à proximité de l'écran de manière que le projectile le traverse, d'une part avec la vitesse et l'inclinaison correspondantes à une distance de combat désignée, d'autre part en un point ayant par rapport au panneau des coordonnées désignées : on aurait ainsi, par un nombre d'expériences aussi réduit que possible, des conséquences pratiques tout à fait positives.

3° *Instruments de perspective.*

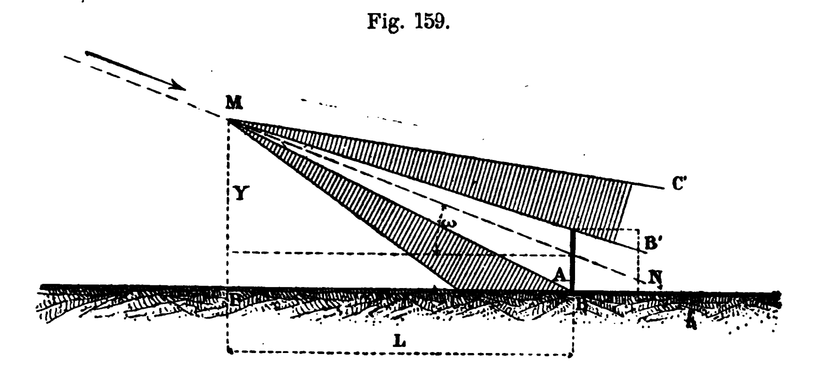
Enfin on peut encore relever le point d'éclatement au moyen d'instruments de perspective, tels que la chambre obscure, la chambre claire, le pendulographe Granjean, le téléïconographe, etc. L'observateur se place à quelques centaines de mètres en dehors du plan de tir, à hauteur du point où on présume que l'éclatement se fera. Il commence par rapporter sur le tableau le but et un ou plusieurs signaux auxiliaires, afin que l'écartement de leurs images donne l'échelle de la perspective. Il marque ensuite de même chaque point d'éclatement. On doit en outre observer de la batterie

la *direction* de ce point, c'est-à-dire un plan azimuthal dont l'intersection avec lo rayon visuel enregistré par l'appareil optique sera le point cherché.

IV. — Le point d'éclatement et le but.

L'effet du tir dépend à la fois des deux coordonnées du point d'éclatement par rapport au but, savoir sa distance horizontale BP, qu'on appelle encore l'*intervalle*, et que nous continuerons à désigner par L, et sa hau-

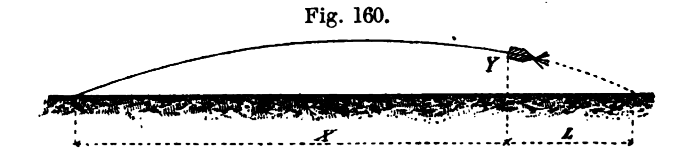
Fig. 159.



teur $Y = MP$. Le cas est plus compliqué que celui de la fusée percutante, où il n'y avait à considérer qu'une seule de ces coordonnées, l'autre étant égale à zéro.

On voit que la somme $X + L$ n'est autre chose que la distance de la pièce au but. Si le shrapnel éclate au delà de celui-ci, l'intervalle est dit *négatif*.

Fig. 160.



L'ordonnée Y est aussi l'ordonnée de la trajectoire correspondante à l'abscisse X comptée de la pièce.

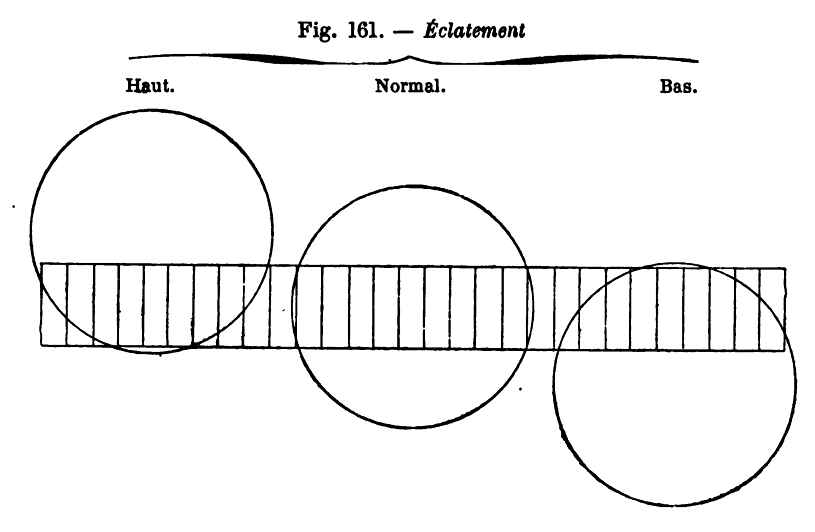
Pour un intervalle donné L, l'axe de la gerbe ira rencontrer le milieu A du but, si la hauteur Y est déterminée par la condition

$$Y = \frac{1}{2} H + L \operatorname{tg} \omega,$$

ω désignant l'angle de chute. On a alors ce qui s'appelle le *tir avec éclatement normal*, mais le but se trouve dans la partie creuse de la gerbe. Il y a donc intérêt à diriger sur le milieu A, soit la nappe supérieure, — c'est ce

qu'on appelle le *tir avec éclatement bas,* — soit la nappe inférieure, — c'est ce

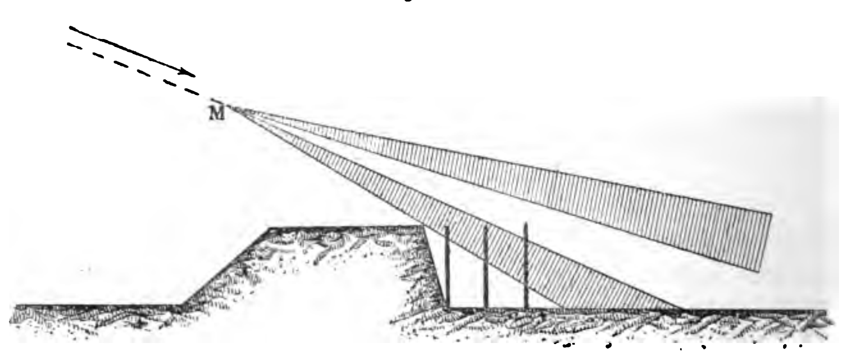
Fig. 161. — *Éclatement*



qu'on appelle le *tir avec éclatement·haut.* Et, d'après le théorème ci-dessus, on peut obtenir l'un ou l'autre résultat, en agissant uniquement sur la hausse, sans toucher à la fusée.

Le tir avec éclatement haut est à préférer lorsqu'il s'agit d'un but protégé par un épaulement, parce que la nappe inférieure est plus fichante; il doit

Fig. 162.



l'être encore dans le tir contre l'infanterie couchée.

Mais, comme nous l'avons déjà dit tant de fois, on n'est maître que d'une certaine trajectoire appelée la trajectoire moyenne, et l'on n'a aucune prise sur les trajectoires individuelles, lesquelles s'éparpillent autour de celle-là

suivant la loi naturelle de la dispersion (chap. VII). Si donc la trajectoire moyenne a la partie basse de sa gerbe à hauteur du but, il y aura presque la moitié des trajectoires qui auront la leur entièrement au-dessus, et seront perdues; la proportion en sera d'autant plus voisine de $\frac{1}{2}$ que l'écart probable de la pièce en portée est plus grand et l'intervalle choisi plus petit.

Le tir avec éclatement bas convient au contraire lorsqu'il s'agit d'un but

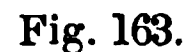
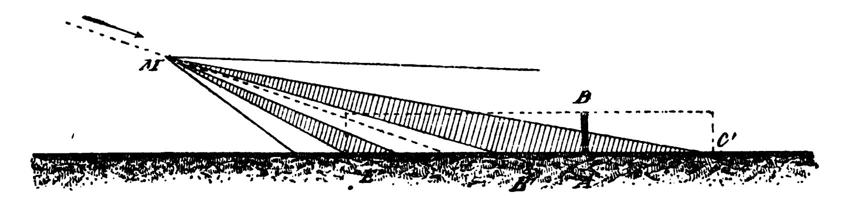


Fig. 163.



découvert, parce que la nappe supérieure est plus rasante.

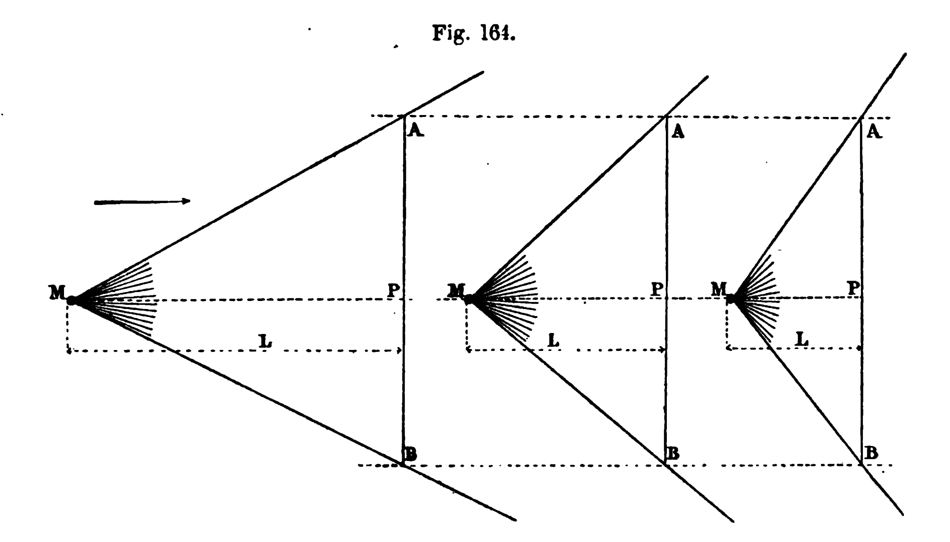
C'est le tir de campagne par excellence, et sa valeur subsiste dans le cas où la gerbe, au lieu d'être creuse, répartit uniformément ses balles. Un but de hauteur donnée *AB* y est atteint par une seule trajectoire sur une étendue *C'E'* qui est très grande à raison de l'obliquité avec laquelle le sol coupe cette nappe. Les coups qui sont courts ne sont pas perdus parce qu'ils donnent des ricochets par les génératrices les plus élevées de leurs gerbes, lesquelles font avec le sol un angle très petit. Les coups qui sont longs pourront rencontrer le but par les nappes inférieures de leur gerbe, et ne pas être perdus. Enfin, l'éclatement se faisant à une faible hauteur, la fumée de l'obus se projettera sur le but et aidera puissamment pour le réglage du tir, de sorte que l'avantage de la commodité s'ajoute à celui du maximum d'efficacité.

V. — Intervalle et hauteur.

Il nous reste à préciser numériquement les valeurs qui conviennent le mieux pour l'intervalle et pour la hauteur.

L'*intervalle* doit être tel que les balles arrivent au panneau avec une force vive suffisante, ce qui lui assigne une limite supérieure, et que l'intersection de la gerbe par le panneau ait une étendue suffisante, ce qui fixe une limite inférieure. Cette étendue se lie avec l'ouverture *AMB* de la gerbe, et,

Fig. 164.



comme celle-ci est sensiblement proportionnelle à v, on est conduit, pour avoir une largeur constante AB, à prendre constant le rapport $\frac{MP}{v}$, c'est-à-dire le temps que mettrait le projectile pour franchir l'intervalle en vertu de sa vitesse restante. Mais, aux grandes distances, l'intervalle moyen ainsi calculé deviendrait notablement inférieur à la zone $2R$ qui renferme la moitié la plus dense des éclatements (voir le § précédent); des coups éclateraient au delà du panneau dans une proportion beaucoup plus forte que celle (d'environ 10 %) reconnue bonne pour le réglage du tir, et seraient complètement perdus.

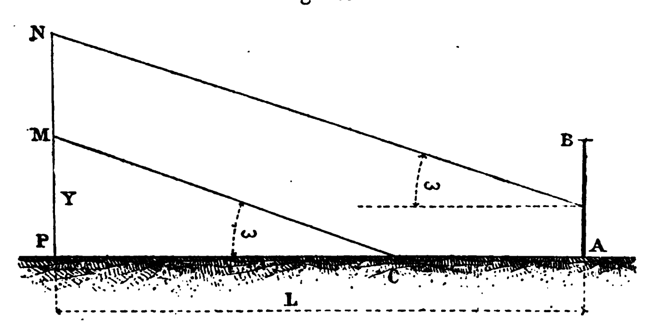
Aussi l'on fait diminuer l'intervalle moins rapidement qu'il ne résulte de cette règle, en le prenant de 70 mètres aux petites distances, pour le réduire à 30 mètres aux plus grandes. On peut même, pour plus de simplicité, se donner une valeur unique d'une cinquantaine de mètres. Cet élément est du reste assez élastique ; il l'est beaucoup plus dans le cas actuel que dans celui de la gerbe percutante, et, aux petites distances, il peut aller jusqu'à 100 mètres sans trop de perte.

Le tir en éclatement haut exige naturellement un intervalle moindre encore que celui en éclatement bas, ce qui est une raison de plus en faveur du second.

Pour la *hauteur* Y, il faut, si l'on tire en éclatement bas, qu'elle soit inférieure à la valeur $PN = \frac{1}{2} H + L \operatorname{tg} \omega$ qui donne l'éclatement normal. Et



Fig. 165.



si l'intervalle PA reste le même aux diverses distances, il faut que la longueur $PC = \frac{Y}{\text{tg}\omega}$ reste aussi la même, afin que l'abaissement au-dessous de l'éclatement normal conserve une valeur constante, celle reconnue la meilleure à une distance quelconque. La hauteur Y doit donc aller en augmentant avec la distance. En effet, on la fait varier de 2 mètres à 6 mètres quand la distance varie de 500 à 2,000 mètres; mais elle croît ainsi beaucoup moins vite qu'il ne résulterait de sa proportionnalité à tgω : c'est que des hauteurs de plus de 6 mètres rendent par trop difficile l'observation du tir.

Le tableau qui suit donne les résultats de tirs nombreux et méthodiques exécutés en Italie, en 1879, avec le shrapnel de 9^c, figuré chap. Ier, page 7. Ce projectile est armé de la fusée modèle 1876 décrite dans le chap. VI, et renferme 184 balles de 14^{mm}, avec tolérance de trois en plus ou en moins; il pèse 6^k,800; dans les tirs dont il s'agit, sa vitesse initiale moyenne a été de 455 mètres.

Le but était formé par trois rangées de panneaux ayant une hauteur de 3 mètres, une largeur de 30 mètres et des intervalles de 20 mètres. La hauteur de 3 mètres représente celle de la cavalerie, et l'on avait tracé, à la hauteur de 1^m,80, une ligne horizontale correspondante à l'infanterie. Dans le tableau, ont été inscrits en outre les nombres d'atteintes correspondants à une hauteur de 2 mètres; on les a déduits par une simple proportion de ceux relatifs aux deux autres hauteurs, en prenant les moyennes de leurs résultats respectifs.

La hauteur et l'intervalle de l'éclatement étaient relevés au moyen de la chambre obscure.

DISTANCE DE TIR	NOMBRE DE COUPS TIRÉS	GRADUATION		POINT d'éclatement moyen		DISPERSION longitudinale moyenne des points d'éclatement, pour		NOMBRE MOYEN d'atteintes, pour un coup, sur				
								la 1re rangée de panneaux			les 3 rangées	
		DE LA HAUSSE	DE LA FUSÉE	HAUTEUR	INTERVALLE	LA TOTALITÉ	LA MOITIÉ la plus dense	INFANTERIE	CAVALERIE	HAUTEUR DE 2m	INFANTERIE	CAVALERIE
mètres		millim.	millim.	mètres	mètres	mètres	mètres					
500	11	13	6	2.13	12.09	44.20	12.46	46	82	53	156	250
700	11	18	13	2.98	45.53	177.00	31.93	37	57	39	113	173
900	20	25	23	2.64	61.59	146.20	39.05	41	60	43	113	168
1.200	19	37	34	4.41	67.14	129.70	30.80	53	77	55	99	146
1.600	28	55	53	4.76	51.98	150.00	35.00	38	54	39	73	114
2.000	25	75	71	5.65	69.51	147.50	33.65	24	38	26	52	87
2.500	36	104	94	7.41	73.95	178.20	48.13	23	34	25	48	77
2.800	25	124	110	10.43	47.16	145.20	41.50	27	47	30	49	82
3.000	39	137	118	11.30	90.00	200.00	23.20	12	21	14	23	40

Extrait de *Giornale d'Artigliera e Genio*, août 1879.

VI. — Fusées à durées discontinues.

Il a été admis dans ce qui précède que l'obus à balles est muni d'une fusée à réglage continu. Avec celles à durées discontinues, comme l'artillerie française en employait il n'y a pas longtemps encore, l'effet de ce projectile est beaucoup plus incertain. Voici en effet comment les choses se passent.

Le tir est d'une grande efficacité quand la distance du but correspond à la première durée. Si la distance augmente, il faut élever le point d'éclatement au-dessus du sol proportionnellement à l'agrandissement de l'intervalle, de manière à faire toujours arriver sur le but la partie la plus dense de la gerbe; mais cette densité va en diminuant rapidement, et avec elle l'efficacité du tir.

Lorsqu'arrive la distance qui correspond à la deuxième durée, l'obus retrouve la plus grande partie de son efficacité pour la perdre de nouveau graduellement, et l'on passe ainsi, jusqu'à la distance extrême du tir, par autant de périodes que la fusée comporte de durées.

§ 5. — ROLES RESPECTIFS DE L'OBUS ORDINAIRE ET DE L'OBUS A BALLES.

I. — L'obus ordinaire.

En principe, la mission de l'obus ordinaire est de détruire, traverser ou incendier des obstacles matériels.

Il s'impose néanmoins pour le tir contre des troupes :

1° Aux grandes distances, pour lesquelles le tir de l'obus à balles, tel que ce dernier est organisé jusqu'à aujourd'hui, est encore incertain;

2° Lorsque ces troupes sont établies *dans l'intérieur* d'un village ou d'un bois ;

3° Pour régler ou contrôler le tir des obus à balles qui sont armés d'une simple fusée à durée, car, avec sa fusée percutante et la merveilleuse précision des canons modernes, il constitue le meilleur des télémètres.

Nous avons examiné dans un chapitre précédent quelques-unes des combinaisons par lesquelles on a cherché à accroître ses effets d'éclatement, sans nuire à la solidité qui lui est nécessaire pour agir contre les obstacles matériels. Ces diverses combinaisons, obus à lignes de rupture intérieures, à double paroi, à couronnes dentées..., ne paraissent faire gagner quelque chose au premier point de vue qu'en sacrifiant peut-être par trop le second. Néanmoins, elles sont admises aujourd'hui dans la plupart des artilleries.

II. — L'obus à balles.

L'obus à balles avec fusée à durée à réglage continu convient éminemment, mais exclusivement, pour le tir contre des buts vivants :

En campagne, il sera dirigé contre les troupes de toutes armes, qu'elles soient en lignes déployées, en ordre dispersé ou en colonnes; qu'elles soient debout ou couchées, à découvert ou dérobées à la vue par un masque quelconque, immobiles ou en mouvement. Il sera très bon pour contre-battre de l'artillerie déployée, pour fouiller *des lisières* de bois ou de villages occupés par l'ennemi, pour rendre malsains les défilés, les ponts ou les chaussées où des troupes doivent passer.

A l'assiégeant, il servira pour : inquiéter par le tir d'enfilade le personnel

servant les bouches à feu[1]; éteindre momentanément le feu de l'artillerie en forçant les servants à s'abriter; empêcher l'ennemi de réparer la nuit les dégradations des parapets; dans un bombardement, tirer sur les points où des incendies ont été allumés; avant l'assaut, faire évacuer le voisinage et éviter une guerre de rue.

Par l'assiégé, il sera employé contre les travailleurs d'une batterie d'attaque ou d'un cheminement, contre des troupes réunies dans une parallèle..., etc.

L'emploi d'une fusée mixte (chap. VI, § 6) a augmenté considérablement la valeur du shrapnel. En ne débouchant aucun évent de la fusée, il sera uniquement percutant, et se passera du concours gênant que lui prêtait l'obus ordinaire pour le réglage du tir. Puis, le tir une fois réglé quant à la hausse, on en déduira la durée, qu'on pourra, s'il y a lieu, améliorer à son tour par la condition d'avoir quelques coups percutants, les uns courts, les autres longs.

---

1. Ce tir est très efficace contre des terre-pleins qui n'ont pas assez de traverses; mais il l'est peu contre un terre-plein bien traversé.

ERRATA

Page 4, à la suite du § I, ajouter : *voir aussi la figure 54 et les figures 76, 77.*

Page 4, avant-dernière ligne. Après : *en divers endroits,* ajouter : *voir la figure 76, page 67.*

Page 15, figure 13. Dans la figure de gauche (coupe verticale de l'obus), le trait qui marque le dessous de la chemise de plomb a été continué indûment à travers les hachures du culot creux, dont le tronc de cône semble ainsi ne pas faire corps avec le reste.

Page 21, ligne 5. Après : *les obus de Bange,* ajouter : *(voir les figures 17 et 87).*

Page 21, ligne 21, et en plusieurs endroits. Au lieu de : *Withworth,* lire : *Whitworth.*

Page 23, dernière ligne de la note. Au lieu de : *lequelles,* lire : *lesquelles.*

Page 30, avant-dernière ligne. Au lieu de : $\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2$, lire : $\frac{1}{2}\frac{P}{g}v^2$.

Page 38, légende de la figure 31. Lire : *Longrine* au lieu de : *Dongrine,* et *Bauquières* au lieu de : *Banquières.*

Page 45, figure 46. Inscrire dans les angles leurs valeurs 65° et 45°.

Page 47, figure 48. Au lieu de : *R***=1 1/2, lire :** *R***=1 1/4.**

Page 47, 3e ligne au-droit de la figure 51. Au lieu de : *au-dessous,* **lire :** *au dessus.*

— Page 63, figure 72. Restituer ainsi qu'il suit la légende de la figure :

A, Tube d'amorce, contenant 43gr,5 de fulmicoton sec et comprimé;

B, Fulmicoton en flocons, imbibé d'eau; environ 5 kilogr.;

d, Capsule en laiton, percée de quatre trous et remplie de fulminate de mercure;

a, Fusée percutante système *Pettmann*. C'est une fusée à double réaction (voir chap. V, § 5), présentant cette particularité qu'une fois libérée par le choc de départ, la masse détonante, au lieu d'être guidée suivant l'axe de la fusée, comme dans les divers systèmes décrits au chapitre V, peut aller choquer n'importe quel point de la paroi du corps de fusée. Elle est constituée par une boule en laiton enduite de fulminate sur toute sa surface, et elle est immobilisée jusqu'au départ du coup par deux tourillons que dégage le recul d'une masselotte. — C'est cette fusée qui est en service à bord des navires anglais.

— Page 67, titre de la figure 76. Au lieu de : *Artillerie anglaise Shrapnel. Boxer de 9 pouces*, lire : *Artillerie anglaise. — Shrapnel Boxer de 9 pouces.*

— Page 79, 4e ligne du § 3. Au lieu de : *sulfate d'antimoine*, lire : *sulfure d'antimoine.*

— Page 80, 1re ligne. Au lieu de : *une cheminée de fusil, coiffant un canal qui communique*, lire : *une capsule fulminante coiffant une cheminée de fusil dont le canal communique.*

— Page 85, ligne 8. Au lieu de : *des deux fusées précédentes*, lire : *de la fusée précédente.*

— Page 92, figure 107. Observer que, dans la figure de droite, on n'a représenté que le corps de fusée, comme si tous les organes intérieurs avaient été enlevés.

— Page 110, figure 124. Dans le titre de la figure, ajouter : *modèle 1880.* — Dans la légende, ajouter qu'il existe deux modèles : l'un *de campagne*, où le diamètre des filets est de 25mm, l'autre *de siège*, où il est de 40mm.

— Page 110, 2e ligne au-dessous de la figure. Après : *en métal peu dur*, ajouter : *formé de*

Plomb. . .	4,50
Etain . . .	4,50
Antimoine.	1

— Page 138, ligne 3. Après : *distances*, ajouter une virgule.

Page 138, figure 135. Restituer les lettres suivantes :

H, sur le point de l'échelle inférieure marqué 520;

ABCG, aux quatre sommets du rectangle qui s'appuie sur l'ordonnée 520, les deux lettres *A* et *C* étant sur la dernière courbe des vitesses restantes, laquelle devrait porter à son extrémité l'indication : *16*^{cm} *et 45*^{kos};

DE, aux deux extrémités de la ligne comprise entre les horizontales 13 et 14, la lettre *C* étant sur le côté *CG* du rectangle, et la lettre *E* sur le côté droit du cadre.

— Page 173, ligne 21. Au lieu de : *doit*, mettre : *peut et doit*.

— Page 183, figure 157. Les trois lignes *Bo*, *C*, *nmXE* doivent être perpendiculaires à la ligne de terre.

— Page 185, avant-dernière ligne. Après : *la gerbe*, ajouter : *comme le représente la figure 159*.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES FIGURES

Pages.

Fontainebleau — Typ. de E. Bourges, imprimeur de l'École d'application.

